



HAL
open science

Développements précoces du concept de travail mécanique (fin 17e s.-début 18e s.): quantification, optimisation et profit de l'effet des agents producteurs

Yannick Fonteneau

► **To cite this version:**

Yannick Fonteneau. Développements précoces du concept de travail mécanique (fin 17e s.-début 18e s.): quantification, optimisation et profit de l'effet des agents producteurs. Autre [q-bio.OT]. Université Claude Bernard - Lyon I; Università di Torino (Turin, Italie), 2011. Français. NNT: 2011LYO10125 . tel-00640402v2

HAL Id: tel-00640402

<https://theses.hal.science/tel-00640402v2>

Submitted on 26 Jun 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO

ALMA UNIVERSITAS
TAURINENSIS



N° d'ordre : 125-2011

Année 2010/2011

THESE DE L'UNIVERSITE DE LYON

pour l'obtention du
DIPLOME DE DOCTORAT
(arrêté du 7 août 2006 / arrêté du 6 janvier 2005)
spécialité HISTOIRE ET PHILOSOPHIE DES SCIENCES
délivré par
L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

préparée en cotutelle avec
L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

au sein de
L'ECOLE DOCTORALE EPIC

sous la direction de
MM. Pierre CRÉPEL et M. Ludovic FROBERT (Lyon) / Mme Manuela ALBERTONE

Intitulée

Développements précoces du concept de travail mécanique (fin 17^e s.-début 18^e s.):
quantification, optimisation et profit de l'effet des agents producteurs

et soutenue publiquement le 27 juin 2011 par

M. Yannick FONTENEAU

devant un jury composé de

- *Mme Manuela ALBERTONE (Dipartimento di Storia, Università degli Studi di Torino)
- *M. Michel BLAY (CNRS - SYRTE, Observatoire de Paris)
- *M. Pierre CRÉPEL (CNRS - Institut Camille Jordan, Université Claude Bernard Lyon 1)
- *M. Ludovic FROBERT (CNRS - Triangle, ENS Lyon)
- *M. Philippe LAUTESSE (S2HEP, Université Claude Bernard Lyon 1)- Président
- *M. Enrico PASINI (Dipartimento di Filosofia, Università degli Studi di Torino)
- *Mme Patricia RADELET DE GRAVE (FYMA, Université catholique de Louvain) - Rapporteur
- *M. Friedrich STEINLE (Institut für Philosophie, Literatur-, Wissenschafts- und Technikgeschichte, Technische Universität Berlin) -Rapporteur

et de M. Jérôme VIARD en qualité d'invité.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TORINO

DIPARTIMENTO DI STORIA

DOTTORATO DI RICERCA IN STORIA MODERNA

CICLO: XXI

TITOLO DELLA TESI:

Développements précoces du concept de travail mécanique (fin 17e s.-début 18e s.):
quantification, optimisation et profit de l'effet des agents producteurs.

TESI PRESENTATA DA: Yannick FONTENEAU

TUTORS:

Manuela ALBERTONE

Pierre CRÉPEL

Ludovic FROBERT

COORDINATORE DEL DOTTORATO:

Pierre CRÉPEL

ANNI ACCADEMICI: 2010/2011

Settore Scientifico-disciplinare di afferenza: Storia della Scienza

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire

Vice-président du Conseil Scientifique

Secrétaire Général

M. A. Bonmartin

M. le Professeur G. Annat

M. le Professeur D. Simon

M. le Professeur J-F. Mornex

M. G. Gay

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Directeur : M. le Professeur J. Etienne

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles Mérieux

Directeur : M. le Professeur F-N. Gilly

UFR d'Odontologie

Directeur : M. le Professeur D. Bourgeois

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Directeur : M. le Professeur F. Locher

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Directeur : M. le Professeur Y. Matillon

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine

Directeur : M. le Professeur P. Farge

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Directeur : M. le Professeur F. Gieres

Département Biologie

Directeur : M. le Professeur F. Fleury

Département Chimie Biochimie

Directeur : Mme le Professeur H. Parrot

Département GEP

Directeur : M. N. Siauve

Département Informatique

Directeur : M. le Professeur S. Akkouche

Département Mathématiques

Directeur : M. le Professeur A. Goldman

Département Mécanique

Directeur : M. le Professeur H. Ben Hadid

Département Physique

Directeur : Mme S. Fleck

Département Sciences de la Terre

Directeur : Mme le Professeur I. Daniel

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Directeur : M. C. Collignon

Observatoire de Lyon

Directeur : M. B. Guiderdoni

Ecole Polytechnique Universitaire de Lyon 1

Directeur : M. P. Fournier

Ecole Supérieur de Chimie Physique Electronique

Directeur : M. G. Pignault

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Directeur : M. le Professeur C. Coulet

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. le Professeur J-C. Augros

Institut Universitaire de Formation des Maîtres

Directeur : M. R. Bernard

RESUME en français

En prenant comme point d'horizon l'entrée du concept de travail mécanique dans la physique théorique par les ingénieurs-savants du début de 19^e siècle (Coriolis et Navier notamment), cette thèse montre la filiation de ce concept vis-à-vis de démarches apparaissant à l'aube du 18^e siècle à l'Académie Royale des Sciences de Paris, notamment dans les œuvres d'Amontons et de Parent. La thèse montre alors comment et pourquoi le concept commence à se développer au premier 18^e siècle dans cet environnement, comment il est ensuite repris, enrichi, modifié par Pitot, Bérard, Desaguliers, D. Bernoulli, et comment au contraire ce concept semble ignoré de savants plus théoriciens tel que D'Alembert. Le rôle de la rupture de la vision statique de la machine semble déterminant. Apparaît alors la forte dépendance de ce concept aux problématiques qu'il permet de résoudre, axées sur la quantification et l'optimisation de l'effet des hommes, des animaux et des machines en situation laborieuse, et leurs comparaisons mutuelles dont l'une des finalités est la recherche du profit économique. L'histoire du concept se donne à voir comme une interface permanente entre mécanique théorique, mécanique pratique, et aspects productifs. On suggère alors que la légitimité du concept tient dans sa pertinence à rendre compte du travail des agents producteurs. Enfin, la thèse s'attache à recréer l'épaisseur du réel derrière les concepts et les problématiques, en montrant ce qu'ils doivent aux stratégies gouvernementales et aux pratiques d'ingénieurs.

TITRE en anglais

Early developments of the concept of mechanical work (late 17th century –early 18th century): quantification, optimisation and profit of the effect of productive agents.

RESUME en anglais

Taking the early 19th century concept of mechanical work in theoretical physics (popular among such engineers as Coriolis and Navier) as the point of reference, this essay draws a connection between this concept and similar reasoning occurring at the Royal Academy of Sciences in Paris at the turn of the 18th century, especially evident in the works of Amontons and Parent.

The essay then demonstrates how and why this concept begins to develop in this academic environment, and how it is then adopted, enhanced and modified by Pitot Bérard, Désaguliers, and D. Bernoulli while seemingly ignored by theorists such as D'Alembert. The role of the breakdown of the conceptualisation of machines as static agents seems decisive. What follows is a strong dependence on the concept of mechanical work for its ability to problem solve and in pursuit of economic gain, particularly as pertains to quantification, optimisation and the comparative labour productivity of men, animals and machines. The concept's history suggests a permanent interplay between theoretical mechanics, practical mechanics and productivity, thus indicating that the legitimacy of the concept lies in its ability to represent the work of producing agents. Finally, the essay attempts to recreate in practical terms the reality behind the concepts and problems, showing what they owe to government strategies and what to the practices of engineers.

DISCIPLINE

Histoire et Philosophie des Sciences

MOTS-CLES

Travail mécanique, histoire des sciences, épistémologie, Académie Royale des Sciences de Paris, politique, économie, mercantilisme, utilité

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. OU DU LABORATOIRE :

S2HEP (Sciences et Sociétés, Historicité, Education, Pratiques)
Université Claude Bernard Lyon 1- Bâtiment La Pagode
38 Boulevard Niels Bohr
69622 Villeurbanne Cedex
France.

TITOLO

Sviluppi precoci del concetto di lavoro meccanico (fine 17° - inizio 18° secolo) : quantificazione, ottimizzazione e profitto dell'effetto degli agenti produttori

RIASSUNTO

Prendendo come punto di riferimento il concetto di lavoro meccanico nella fisica teorica introdotto dagli ingegneri del 19° secolo (Coriolis et Navier), la tesi mostra un legame di questo concetto con le pratiche adottate all'alba del 18° secolo nell'Accademia Reale delle Scienze di Parigi, nello specifico nelle opere di Amontons e di Parent. La tesi vuole quindi mostrare come e perché il concetto di lavoro cominciò a svilupparsi in questo ambiente nella prima parte del 18° secolo, come in seguito sia stato ripreso, arricchito, modificato da Pitot, Bélidor, Desaguliers, D. Bernoulli, e come sembra sia stato ignorato da sapienti più teorici come D'Alembert. Il ruolo della rottura della visione statica della macchina sembra determinante. Appariva allora una forte dipendenza di questo concetto dalle problematiche che lo stesso avrebbe invece permesso di risolvere.

Tali problematiche erano incentrate sulla qualifica e sull'ottimizzazione dell'effetto degli uomini, degli animali e delle macchine in situazioni usuranti, e sul confronto vicendevole con il profitto economico come una delle finalità da perseguire. La storia del concetto si può vedere come un'interfaccia permanente tra meccanica teorica, meccanica pratica e aspetti produttivi. Si suggerisce quindi che la legittimità del concetto tenga nella sua capacità a prendere in conto in maniera pertinente il lavoro degli agenti produttori. Infine, la tesi s'incarica di ricreare lo spessore della realtà al di là dei concetti e delle problematiche, mostrando ciò che devono alle strategie governative ed alle pratiche dell'ingegneria.

TITEL

Frühe Entwicklungen des mechanischen Arbeitskonzepts (Ende des 17. Jh. – Anfang des 18. Jh.): Quantifizierung, Optimierung und Gewinn aus dem Effekt der Produktionsagenten.

ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Aufnahme des mechanischen Arbeitskonzepts in die theoretische Physik durch die Ingenieure-Wissenschaftler des beginnenden 19. Jahrhunderts (vor allem Coriolis und Navier) zeigt diese Dissertation die Beziehung zwischen diesem Konzept und den Gedankengängen ganz am Anfang des 18. Jahrhunderts an der Académie Royale des Sciences in Paris – vor allem in den Werken von Amontons und Parent. Dann zeigt die Dissertation, warum und wie das Konzept Anfang des 18. Jahrhunderts beginnt, sich in dieser Umgebung zu entwickeln, wie es zunächst von Pitot, Bélidor, Desaguliers, D. Bernoulli übernommen, bereichert, modifiziert wird, und wie im Gegenteil dieses Konzept von Wissenschaftlern, die mehr von der Theorie geprägt sind, übersehen zu werden scheint. Die Rolle des Bruchs mit dem statischen Verständnis der Maschine scheint ausschlaggebend zu sein. Dann taucht die große Abhängigkeit dieses Konzepts von den Problematiken auf, die es zu lösen erlaubt und die sich auf die Quantifizierung und die Optimierung des Effekts der Menschen, der Tiere und der Maschinen bei der Arbeit richten, auch auf deren gegenseitige Vergleiche, die die Suche nach dem wirtschaftlichen Gewinn als Ziel haben. Die Geschichte des Konzepts ist als eine ständige Beziehung zwischen der theoretischen, der praktischen Mechanik und den Produktionsaspekten zu verstehen. Es wird also vermutet, dass die Legitimität des Konzepts in seiner Fähigkeit besteht, über die Arbeit der Produktionsagenten zu berichten. Schließlich bemüht sich die Dissertation, die Stärke des Realen hinter den Konzepten und den Problematiken wieder zu entdecken und zu zeigen, was sie den Regierungsstrategien und den Ingenieurpraktiken verdanken.

REMERCIEMENTS

La première idée de ce travail est née à la suite de discussions avec Jérôme Viard, mon premier directeur de thèse. Je tiens ici à le remercier pour son exigence bienveillante et son indéfectible soutien. Ce travail est redevable de sa vision originale de la physique et des échanges fructueux que nous avons entretenus.

Conformément au projet de départ, Pierre Crépel a remplacé Jérôme Viard quand celui-ci est parti à la retraite. Sa culture profonde, son expérience et son soutien ont permis à ce travail de voir le jour, ce que sa modestie n'admettra jamais.

Ludovic Frobert a également accepté de m'encadrer. Je l'en remercie.

Je n'oublie pas non plus Manuela Albertone, pour son aide en Italie dans le cadre de ma cotutelle.

Merci également aux rapporteurs, Patricia Radelet de Grave, et Friedrich Steinle, pour leur intérêt pour mon travail, ainsi qu'à Michel Blay, Philippe Lautesse et Enrico Pasini, pour avoir accepté de faire parti du jury.

Ce travail s'est enrichi, modifié et réorienté grâce aux interactions ponctuelles ou durables menées auprès de nombreuses personnes : dans ce cadre, citons Bernard Bru, Sophie Roux, François Vatin, Christine Théré, Florence Greffe, Frans Cerulus, Marco Bianchini, Marco Guidi, Daniel Roche, Isabelle Cogitore, Benjamin Ravier, Sabine Gillespie-Lecuyer, Marc Ratcliff... et j'en oublie la plupart.

Plus particulièrement, mes recherches biographiques en archives relatives à Guillaume Amontons n'auraient jamais pu être menées sans les suggestions précises et l'expertise méticuleuse de Guy Picolet. Sa rigueur, son humilité, et son enthousiasme sont pour moi un exemple.

Merci également à Michel de Rotalier pour son aide aux Archives Nationales, à Sylvain Clément aux Archives départementales de la Seine Maritime, ainsi qu'à Olivier-Jean Wagner pour sa démonstration "de l'utilité de l'Ecole des Chartes pour le bien de l'humanité".

Il me faut aussi dire un grand merci à la Société Française d'Etude du Dix-Huitième Siècle pour le prix que cette institution a bien voulu me décerner, et qui m'a beaucoup encouragé.

Last but not least, cette thèse n'aurait pas pu être menée à son terme sans le soutien moral et parfois logistique de mes amis. Que soit ici très chaleureusement remerciés Ahmed Terbaoui, Denis Damiron, Héctor Hugo Bautista, Arnaud Racher, Johann Deschamps, Caroline Kaspar, Germain Béal, Manon Jullien, et tous ceux que j'oublie, qui m'ont apporté leur joie de vivre et la stimulation de leurs échanges intellectuels.

Et j'allais presque oublier : j'exprime ma gratitude éternelle envers ma cafetière, fidèle compagne de toujours, sans qui ce travail, assurément, n'aurait pas pu voir le jour.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION : RENDRE LA SOUPE INTELLIGIBLE.....	21
CHAPITRE 1 PROLEGOMENES A UNE PHYSIQUE DU TRAVAIL A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (1668-1720).....	35
1.A.INTRODUCTION	35
1.B.DESCARTES OU LE DENI DE LA CAPACITE DE TRAVAIL	38
1.B.a. Force physique vs force de l'âme	41
1.B.b. Force à deux dimensions vs force à une dimension	42
1.B.c. Equivalence et indifférenciation de l'effet et de la force.....	43
1.B.d. Un rapport à la production impensé parce qu'impensable	45
1.B.e. De la quantité d'action à la quantité de mouvement	46
1.B.f. La quantité d'action n'est pas un critère de supériorité ni d'optimisation.....	49
1.C.AVANT DESCARTES, SALOMON DE CAUS ?	52
1.D.UN PROGRAMME DE RECHERCHE TOTAL : MESURER LES FORCES MOUVANTES (1668-1669).	56
1.D.a. La mesure de la force des hommes et des chevaux	57
1.D.a.i Enoncé du programme de recherche	58
1.D.a.ii "Pondere, numero et mensura" : réduire l'anthropomorphisme à la mesure	60
1.D.a.iii Le fameux rapport de 7 hommes pour un cheval	64
1.D.a.iv La mesure d'une force de travail ?	66
1.D.a.iv.1 La mesure de ce qui relevait de l'ordre du qualitatif.....	66
1.D.a.iv.2 La notion de peine comme critère de comparaison	67
1.D.a.v Un homme peut-il lever plus que son poids ? Ou : la vitesse génère-t-elle de la force ?	70
1.D.b. La force de percussion	73
1.D.c. La mesure de la force de l'eau.....	75
1.D.d. Problématique de substitution et référence anthropomorphique.....	80
1.E.UNE PROBLEMATIQUE DE SUBSTITUTION INHERENTE AUX RECHERCHES SUR LES MACHINES ET LES ANIMAUX	84
1.E.a. La substitution dans les machines et inventions présentées à l'Académie.....	86
1.E.a.i Faire de la toile sans ouvriers.....	86
1.E.a.ii Les machines pour remonter les bateaux, un enjeu économique.....	90
1.E.a.iii Les automobiles éoliennes de Du Guet	95
1.E.a.iv Battre sans batteurs, moudre sans vent, labourer sans bestiaux	96
1.E.b. Le feu et la poudre : de nouveaux moteurs	98
1.E.b.i L'éolipyle à pompe de Dalesme, le "fumiste"	99
1.E.b.ii Réduire la poudre a une force mouvante.....	101
1.E.c. Les mesures de la force et du travail des chevaux et des hommes	108
1.E.c.i Force des hommes et des chevaux selon le père Sebastien (1694).....	109

1.E.c.ii	L'examen de la force des hommes par La Hire en 1699 : force explosive plutôt que force de travail.....	111
1.E.c.iii	Dalesme : force et fatigue des hommes pour remonter les bateaux (1706).....	113
1.E.d.	<i>Conclusion</i>	115
1.F.A	LA RECHERCHE DE LA MACHINE EFFICACE : LE CALCUL DE L'EFFET	116
1.F.a.	<i>Rames tournantes et galères selon Chazelles</i>	119
1.F.b.	<i>La force pour remonter les bateaux dans la conception de La Hire (1702)</i>	128
1.F.b.i	Calcul = économie	128
1.F.b.ii	Principe de calcul : une « fiction géométrique ».....	129
1.F.b.iii	L'effet dépend de l'Application des forces	131
1.F.b.iv	Résultats et application aux galères	134
1.F.b.v	La Hire : une aversion pour la distance ?.....	135
1.G.	CONCLUSION.....	138

CHAPITRE 2 PUISSANCE CONTINUELLE ET EFFET GENERAL : ANTECEDENTS DU TRAVAIL MECANIQUE DANS LES OEUVRES D'AMONTONS ET DE PARENT (1699-1714)..... 143

2.A.	INTRODUCTION : UNE REALITE QUI N'EST PAS QUE MECANIQUE	143
2.B.	LA "PUISSANCE CONTINUELLE" ET LE MOULIN A FEU DE GUILLAUME AMONTONS	146
2.B.a.	<i>Principes de fonctionnement</i>	146
2.B.b.	<i>Aspects calculatoires</i>	151
2.B.b.i	Quelle hauteur d'eau peut soutenir de l'air sous pression ?	152
2.B.b.ii	Quelle est la force du moulin ?	156
2.B.b.iii	Comment obtenir une mesure de l'effet de la force du moulin ?	158
2.B.b.iii.1	Mise en place de la mesure du travail d'un cheval.....	158
2.B.b.iii.2	Mesure du travail d'un homme	160
2.B.b.iii.3	Détermination du travail du moulin à feu	164
2.B.c.	<i>Force-pour-soutenir et force-pour-mouvoir : la rupture avec la pensée de l'équilibre</i>	165
2.B.d.	<i>Référence anthropomorphique et parenté leibnizienne</i>	167
2.B.d.i	Des paramètres choisis pour exprimer le travail humain	168
2.B.d.ii	Consumation de la force chez Leibniz.....	169
2.B.d.iii	Consumation de la force chez Amontons et rapport avec la force mouvante des animaux de 1668	171
2.B.d.iv	Le travail mécanique et la <i>puissance continue</i> lle comme expression anthropomorphique de la force productive	172
2.B.d.v	Amontons se détache de la force leibnizienne en ce qu'il n'est pas dans un schème conservatif.....	175
2.B.e.	<i>Le lien entre Travail et frottements chez Amontons</i>	175
2.B.f.	<i>Une généralisation de l'effet d'un moteur, mais pas encore de l'effet d'une machine</i>	178
2.B.g.	<i>Amontons est il encore cartésien ?</i>	180
2.B.h.	<i>L'origine de la mesure du travail des hommes : La machine automatique à polir les glaces d'Amontons</i>	181
2.B.i.	<i>La puissance continue</i> lle, c'est ce qu'on paye	183
2.B.i.i	Le caractère productif.....	183

2.B.i.ii	Une logique de maximisation du profit basée sur un indicateur scientifique.....	184
2.B.j.	<i>Les expériences de 1703</i>	186
2.B.j.i	Ce qu'en dit Amontons.....	186
2.B.j.ii	Acculturation des concepts antérieurs.....	189
2.B.k.	<i>Enquête biographique et scientifique sur Guillaume Amontons</i>	192
2.B.k.i	Utilité d'une telle enquête.....	192
2.B.k.ii	Sa famille.....	193
2.B.k.iii	Son réseau relationnel.....	194
2.B.k.iv	Sa vie à l'Académie.....	195
2.B.k.iv.1	Ses travaux à l'Académie.....	195
2.B.k.iv.2	Sa conception du rapport entre pratique et théorie.....	197
2.B.k.iv.3	Ses relations savantes : E.-F. Geoffroy, Joblot, Homberg.....	197
2.B.k.v	Sa bibliothèque.....	200
2.B.k.vi	Conclusion sur la vie d'Amontons.....	200
2.C.	LES MACHINES D'ANTOINE PARENT (1704-1714).....	202
2.C.a.	<i>Démarche et méthode : aspects calculatoires</i>	203
2.C.a.i	Acte I : Les machines mues par un fluide en mouvement (1704). Aspects calculatoires.....	203
2.C.a.i.1	Vocabulaire.....	205
2.C.a.i.2	Principes.....	206
2.C.a.i.3	Séquence de calcul.....	209
2.C.a.ii	Acte II : Les machines mues par les animaux (1714).....	211
2.C.a.ii.1	Des machines qui élèvent des poids quelconques.....	212
2.C.a.ii.2	Des machines sur terrain fixe qui remontent des bateaux.....	214
2.C.a.ii.3	Des machines embarquées qui remontent des bateaux.....	218
2.C.b.	<i>Analyse des mémoires de Parent</i>	220
2.C.b.i	Un effet qui reste tributaire de la structure du problème.....	220
2.C.b.ii	Etat parfait et optimum.....	221
2.C.b.iii	Effet naturel, effet général, degré de perfection, et non proportionnalité des causes et des effets.	223
2.C.b.iv	Les limitations du concept d'effet chez Parent.....	229
2.C.c.	<i>Un faux antécédent : Rømer et les eaux de versailles</i>	232
2.C.d.	<i>Une science de propriétaires : naissance de la technologie</i>	234
2.C.d.i	Augmenter le profit.....	234
2.C.d.ii	Rendre la machine à ses lois naturelles.....	235
2.C.d.iii	Le rôle du concept de travail mécanique dans la naissance d'un discours technologique à l'Académie Royale des Sciences.....	236
2.C.d.iv	La technologie n'est pas neutre.....	240
2.C.d.v	Perfection divine et perfection des machines : un Dieu implicitement entrepreneur chez Parent.....	244
2.C.e.	<i>La sociabilité savante de Parent : un obstacle à la diffusion de ses idées</i>	246
2.C.e.i	Le détestable Antoine Parent.....	246
2.C.e.ii	Détestables détracteurs.....	249
2.C.e.iii	Faut-il brûler Parent ?.....	253
2.D.	CONCLUSION.....	255

2.D.a.	<i>De l'équivalence à la transmission et la transformation</i>	256
2.D.b.	<i>Le modèle organique de la production de force</i>	257
2.D.c.	<i>Vers une effectivité de l'appropriation des forces naturelles dans la production de l'effet</i>	258
2.D.d.	<i>Les lois naturelles du système-machine</i>	258
2.D.e.	<i>Déterminer par un calcul de la conduite la plus efficace : De la maximisation à l'optimisation</i>	259

CHAPITRE 3 LA FORTUNE DES NOTIONS DE TRAVAIL MECANIQUE. REGARDS

CROISES SUR LE CALCUL DE L'EFFET (1725-1743)..... 261

3.A.	INTRODUCTION	261
3.B.	HENRI PITOT : ECLAIRCISSEMENT OU RETOUR EN ARRIERE ? (1725-1737)	261
3.B.a.	<i>Brève présentation du personnage</i>	261
3.B.b.	<i>Les mémoires sur les roues hydrauliques</i>	263
3.B.c.	<i>Le mémoire de 1725 : perte de la riche impureté des méthodes de Parent</i>	265
3.B.c.i	Principes de calculs et principaux résultats	265
3.B.c.ii	Un pas en avant, un pas en arrière.....	270
3.B.d.	<i>1737 : plus nette insertion dans une logique de production</i>	276
3.B.e.	<i>Conclusion : Logique d'expertise et discours sur les limites</i>	279
3.C.	BELIDOR : DU TRAVAIL QUANTIFIE AU TRAVAIL CONTROLE	282
3.C.a.	<i>Pourquoi l'Architecture Hydraulique ?</i>	282
3.C.b.	<i>Une oeuvre impressionnante par son ambition</i>	283
3.C.c.	<i>La carte de la théorie et le territoire de la pratique</i>	286
3.C.d.	<i>La "quantité de mouvement" comme mesure du travail</i>	288
3.C.d.i	Du moment à la quantité de mouvement.....	288
3.C.d.ii	La collision des blocs Amontons- Parent.....	291
3.C.d.iii	Le travail, liant intégral entre le producteur, la machine et son produit	298
3.C.d.iv	Limites de la quantité de mouvement comme mesure du produit	312
3.C.d.v	L'engluement économique.....	318
3.C.e.	<i>La corporéisation de la machine</i>	321
3.C.f.	<i>Travail quantifié, travail contrôlé</i>	328
3.D.	DESAGULIERS. PREMICES D'UNE CONSIDERATION DE LA FORCE VIVE DANS LE CALCUL DE L'EFFET.	331
3.D.a.	<i>Présentation et intérêt</i>	331
3.D.b.	<i>Desaguliers a-t-il compris Parent ?</i>	333
3.D.c.	<i>La recherche du maximum de travail</i>	334
3.D.c.i	Indistinction entre théorie et pratique ; méfiance envers les ouvriers	335
3.D.c.ii	travail mécanique, travail économique (Work/Labour).	336
3.D.c.iii	Mesure du maximum de travail d'un homme : 1 muid d'eau à 10 pieds par minute	339
3.D.c.iv	Maximum de travail d'un cheval : où l'on comprend pourquoi 5 hommes suffisent à l'équivaloir en Angleterre, quand il en faut 7 en France	344
3.D.d.	<i>Prise de conscience de l'importance de la force vive dans le calcul de l'effet</i>	346

3.D.d.i	La force peut être condensée et accumulée	348
3.D.d.ii	Transmission vs transformation : l'effet consomme la force	353
3.E.D'	ALEMBERT ET LA PREFACE DU TRAITE DE DYNAMIQUE. CONFUSION ?	361
3.E.a.	<i>Première approche</i>	362
3.E.b.	<i>Obstacle vaincu et résistance de l'obstacle</i>	364
3.E.c.	<i>L'interprétation physique de $\int F \cdot dx$ n'est pas claire dans la mécanique théorique de l'époque</i> 368	
3.E.d.	<i>Les caractéristiques de l'approche de D'Alembert</i>	371
3.F.	CONCLUSION.....	372
3.F.a.	<i>Dialectique humain-mécanique</i>	372
3.F.a.i	aspect anthropomorphique du travail mécanique.....	372
3.F.a.ii	Aspect mécanique du travail organique	373
3.F.a.iii	conséquence : recherches de normes.....	373
3.F.b.	<i>Equivalence, transmission, transformation</i>	374
3.F.b.i	Début d'une représentation du travail comme transformation de la force.....	374
3.F.b.ii	Conception transmissive	374
3.F.b.iii	L'équilibre et les procédures statiques répondent à d'autres logiques que la physique du travail.....	375
3.F.c.	<i>Discours sur les limites et la régulation</i>	376

CHAPITRE 4 TRAVAIL, FORCE VIVE ET FATIGUE DANS L'ŒUVRE DE DANIEL BERNOULLI (1738-1753) : GERER L'HUMAIN. 379

4.A.	INTRODUCTION	379
4.B.	DES ILLUSIONS DE L' « OPTIQUE FORMELLE ».....	381
4.B.a.	<i>La section X : une problématique d'air comprimé</i>	384
4.B.b.	<i>Pas de travail mécanique, mais une prénotation d'énergie interne</i>	386
4.C.	LA <i>POTENTIA ABSOLUTA</i> , UN ANTECEDENT DU TRAVAIL MECANIQUE.....	390
4.C.a.	<i>Un nouveau concept adapté à la sphère productive</i>	390
4.C.b.	<i>La fatigue, un paramètre problématique mais déterminant dans la conception des machines</i> 393	
4.C.c.	<i>Effet exercé, effet produit : la mesure de l'idéalité</i>	396
4.C.d.	<i>Une perte de potentia absoluta</i>	398
4.C.e.	<i>Elargissement du concept de potentia absoluta</i>	401
4.C.e.i	La potentia absoluta élémentaire.....	401
4.C.e.ii	La <i>potentia absoluta</i> ne dépend pas du chemin parcouru mais seulement de la hauteur.....	402
4.C.f.	<i>Calcul de la potentia absoluta utile dans les machines conduites par un fluide moteur</i>	403
4.C.f.i	Machines hydrauliques dont les pales sont frappées directement par le fluide : où l'on retrouve les résultats de Parent	403
4.C.f.ii	Calcul pour les pales obliques par rapport au fluide	407
4.C.g.	<i>Conclusion sur l'hydrodynamica : quelle perrenité pour la potentia absoluta ?</i>	407
4.D.	L'EVOLUTION DE LA PENSEE DE BERNOULLI	410
4.D.a.	<i>La fatigue, ou les quatre réductions du travail</i>	411

4.D.b.	<i>Ce qu'est le travail</i>	413
4.D.c.	<i>Travail, effet du travail et exigence de rentabilité</i>	414
4.D.d.	<i>La philosophie sociale de Bernoulli</i>	419
4.D.e.	<i>Fatigue, Travail, force vive : trois domaines différents</i>	421
4.D.f.	<i>La force vive n'est pas l'énergie cinétique</i>	425
4.E.	CONCLUSION : GERER L'HUMAIN.....	427

CHAPITRE 5 SORTIR DU TEXTE : ENCASTREMENT DES MESURES DU TRAVAIL DANS L'ENVIRONNEMENT CONTEMPORAIN..... 431

5.A.	INTRODUCTION : LE SECOND DECENTREMENT	431
5.B.	RECONSTRUIRE LE REEL : ACADEMICIENS ET ACADEMIE	434
5.B.a.	<i>Qu'est-ce qu'un ingénieur au 17^e siècle ?</i>	434
5.B.a.i	Amontons et Parent ont exercé comme ingénieurs	434
5.B.a.ii	La maximisation du rapport avantage/coût : une procédure typique des ingénieurs militaires ...	435
5.B.a.iii	Le passage d'une force-pour-soutenir à une force-pour-mouvoir se retrouve dans l'art du siège	437
5.B.a.iv	La recherche des rapports de la théorie à la pratique dans la constitution de la science des ingénieurs et d'un savoir sur les machines.....	439
5.B.a.v	Vauban, l'ingénieur archétypal.....	443
5.B.a.v.1	Le calcul du travail de terrassement des ouvriers-soldats par Vauban	443
5.B.a.v.2	Importance du thème de la quantification chez Vauban.....	448
5.B.b.	<i>Inventions et experts à l'Académie Royale des Sciences</i>	450
5.B.b.i	Histoire	450
5.B.b.ii	Rôle de l'expertise académique	451
5.B.b.iii	Expertise et rhétorique de légitimation	454
5.B.c.	<i>Implication et rôle du savant officiel dans le monde de la production via les projets de description des arts et métiers</i>	458
5.B.c.i	1675 : la commande royale de descriptions des machines. Sélection et conservatoire des techniques	459
5.B.c.ii	1693 : La description des arts et métiers. Classification et logique ; Pérennité des techniques et maintien de l'Etat.....	463
5.B.c.ii.1	Bignon, un pragmatique.....	463
5.B.c.ii.2	Les buts de l'entreprise selon Gilles Filleau Des Billettes.....	464
5.B.c.iii	1716-1718 : l'enquête du Régent. Volonté de mise sous tutelle de la production ; convergence des arts et de la théorie	468
5.C.	INTERET ET PROCESSUS, DANS LES PENSEES ECONOMIQUE ET MECANIQUE	472
5.C.a.	<i>Agencer l'espace de justice du profit par les lois naturelles de la matière : jansénisme, profit, et académisme</i>	472
5.C.a.i	Que cherchent à faire Parent, Amontons, et Vauban ?.....	472
5.C.a.ii	L'amour-propre éclairé des jansénistes.....	474
5.C.a.ii.1	Domat et Pierre Nicole.....	474
5.C.a.ii.2	Pierre de Boisguilbert : l'intérêt individuel comme seul principe régulateur de la cohésion sociale	477

5.C.a.iii	Influence janséniste sur Amontons et Parent	479
5.C.b.	<i>Atteindre le prix le plus bas possible par la concurrence généralisée</i>	481
5.C.b.i	Libre circulation du savoir et concurrence générale chez Réaumur.....	481
5.C.b.ii	Production et destruction de liberté.....	483
5.C.c.	<i>Système de processus chez Parent et les premiers libéraux</i>	485
5.C.d.	<i>Redéfinir les normes par le savoir positif</i>	490
5.C.e.	<i>Articuler la naturalité des lois physiques et la naturalité de l'homme : Gérer le travail comme un processus naturel</i>	492
5.D.	CONCLUSION : LE TRAVAIL MECANIQUE COMME CORRELATIF DE L'ART DE GOUVERNER ET DE SES REDEFINITIONS.....	495
CONCLUSIONS GENERALES : DE L'INTERET DU CALCUL AVANTAGE/COUT DANS LA GESTION DU PARC HUMAIN		499
ANNEXES DE L'INTRODUCTION		509
ANNEXE 01	RAPPEL HISTORIQUE DE L'INTEGRATION DU CONCEPT DE TRAVAIL MECANIQUE DANS LA MECANIQUE THEORIQUE AU 19 ^E SIECLE.	511
01.a.	<i>Qu'est-ce que le travail mécanique ?</i>	511
01.b.	<i>Les Fondateurs</i>	512
01.b.i	Navier et la "monnaie mécanique"	513
01.b.ii	Coriolis : "Du calcul de l'effet des machines"	517
ANNEXES DU CHAPITRE 1		527
ANNEXE 01	DESCRIPTION ET RESULTATS DES EXPERIENCES SUR LA FORCE DE L'EAU MENEES A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES.....	529
01.a.	<i>Impressions de l'eau sur le plateau d'une balance</i>	529
01.b.	<i>La force de l'eau courante dans un canal</i>	533
01.c.	<i>Les enjeux technologiques d'une mesure de la force de l'eau en conditions réelles</i>	535
ANNEXE 02	DESCRIPTION ET RESULTATS DES EXPERIENCES SUR LA MESURE DE LA FORCE MOUVANTE DE L'AIR A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES.....	537
ANNEXE 03	MACHINE POUR SCIER DES PLANCHES MUE PAR UN CHEVAL, INVENTEE PAR DU QUET .	547
ANNEXE 04	MACHINE A SCIER MUE PAR DES CHEVAUX (1699).....	548
ANNEXE 05	MACHINE A REMONTER LES BATEAUX DE DU QUET (1702)	549
ANNEXE 06	MACHINE A REMONTER LES BATEAUX DE PARENT (1699).....	551
ANNEXE 07	MACHINE POUR REMONTER LES BATEAUX DE LAVIER (1707).....	552
ANNEXE 08	MACHINE A REMONTER LES BATEAUX DE CHABERT (1710).....	553
ANNEXE 09	MACHINE A REMONTER LES BATEAUX DE DROUET (1722)	556
ANNEXE 10	MACHINE A FAIRE JOUER LES POMPES D'UN NAVIRE PAR SA MARCHE MEME, DE DU QUET (1707).....	557
ANNEXE 11	PREMIER CHARIOT A VOILES DE DU QUET (1714).....	558
ANNEXE 12	SECOND CHARIOT A VOILES DE DU QUET (1714).....	560

ANNEXE 13	APPLICATION DU MECANISME DU CHARIOT A VOILES POUR FAIRE ALLER LES NAVIRES (1714).....	562
ANNEXE 14	TOMBEREAU EOLIEN (1714)	563
ANNEXE 15	MACHINE A BATTRE LE BLE PAR LE MOYEN D'UN CHEVAL (1722).....	564
ANNEXE 16	OBSERVATIONS FAITES A PARIS EN 1694 SUR LA FORCE NATURELLE DES HOMMES ET DES CHEVAUX.....	565
ANNEXES DU CHAPITRE 2.....		567
ANNEXE 01	ENQUETE BIOGRAPHIQUE SUR L'ACADEMICIEN GUILLAUME AMONTONS (1663-1705)	569
01.a.	<i>Introduction : intérêt et difficultés d'un tel exercice</i>	569
01.b.	<i>Contexte familial (1592-1739)</i>	572
01.b.i	Aperçu	572
01.b.ii	un point de départ : son inventaire après décès.....	572
01.b.iii	Une famille rouennaise de merciers.....	574
01.b.iv	Hubert Amontons et sa descendance.....	580
01.b.v	François II, commis au greffe de la cour des aides de Rouen, et sa descendance	581
01.b.vi	Roland amontons, fils de François II, et sa descendance.....	583
01.b.vii	Guillaume I, l'énigmatique, et Guillaume II Amontons.....	589
01.c.	<i>Le réseau relationnel d'Amontons</i>	601
01.d.	<i>Amontons, instrumentiste, ingénieur, et scientifique (1687-1705)</i>	611
01.d.i	L'instrumentiste.....	611
01.d.ii	L'inventeur et ingénieur.....	615
5.D.a.i.1	En dehors de l'Académie	615
5.D.a.i.1.1	Le sémaphore (télégraphe optique) : A Meudon en 1695 ou 1696	615
5.D.a.i.1.2	La machine à polir les verres	616
5.D.a.i.2	Devant l'Académie	618
01.d.iii	L'académicien (1699-1705).....	620
5.D.a.i.3	Son entrée comme élève de Jean Le Febvre.....	620
5.D.a.i.4	Un homme assidu.....	622
5.D.a.i.5	Oeuvre scientifique	625
5.D.a.i.6	La querelle avec Antoine Parent (1705).....	630
01.e.	<i>La sociabilité savante d'Amontons et le pouvoir</i>	632
01.f.	<i>La bibliothèque d'Amontons</i>	637
01.f.i	Limitations de l'exercice.....	637
01.f.ii	Titres répertoriés et auteurs probables	638
01.f.iii	Remarques sur cet inventaire	643
01.f.iv	Addition sur les instruments de physique et de mathématique.....	645
01.g.	<i>Conclusion</i>	646
ANNEXE 02	PRESENCE OU ABSENCE DE GUILLAUME AMONTONS AUX SEANCES DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES.....	649
ANNEXE 03	ACTIVITES DE GUILLAUME AMONTONS RELEVÉE DANS LES PROCES-VERBAUX DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (1687-1705).....	656

ANNEXE 04	LES <i>MOMENTI</i> DE GALILEE	665
ANNEXE 05	CONTRAT DE MARIAGE ENTRE GUILLAUME AMONTONS ET MARIE MARGUERITE CHARMOY.....	677
ANNEXE 06	INVENTAIRE APRES DECES DE GUILLAUME AMONTONS.....	687
ANNEXE 07	ACTE DE CLOTURE DE L'INVENTAIRE APRES DECES DE GUILLAUME AMONTONS.....	717
ANNEXE 08	EXPLICATIO ET USUS REGULAE UNIVERSALIS... ..	721
ANNEXES DU CHAPITRE 4.....		727
ANNEXE 01	CALCUL DE LA POTENTIA ABSOLUTA UTILE DANS LES MACHINES CONDUITES PAR UN FLUIDE MOTEUR DANS LE CAS DES PALES OBLIQUES PAR RAPPORT AU FLUIDE	729
01.a.	<i>Premier cas : la quantité de fluide reçue par la pale dépend de son inclinaison (cas des moulins à vent).....</i>	730
01.b.	<i>Second cas : la quantité de fluide reçue par la pale ne dépend pas de son inclinaison.....</i>	731
01.c.	<i>Calcul de la potentia absoluta pour ce second cas.....</i>	732
BIBLIOGRAPHIE.....		733
SOURCES ABBREGES		733
SOURCES PRIMAIRES IMPRIMEES.....		734
SOURCES SECONDAIRES.....		745
MULTIMEDIAS		760
MANUSCRITS		760

INTRODUCTION : RENDRE LA SOUPE INTELLIGIBLE

Quel est l'intérêt de s'acheminer dans une recherche sur les origines du travail mécanique ? Cette histoire, lanceront certains historiens, n'est-elle pas déjà bien connue ? Vient en tête alors au moins un nom, Descartes, lorsqu'on est en France, ou Galilée, lorsqu'on est en Italie. Les voilà décrétés inventeurs de ce concept. Puis parfois, on en vient à penser au principe dit des "travaux virtuels", et l'on croit alors que l'histoire du concept est liée à son développement.

A notre sens, ces réflexions sont des malentendus. En réalité, au-delà de quelques affirmations péremptoires, l'histoire du travail dans le premier 18^e siècle est très mal connue. En ce qui concerne le 17^e siècle, parler de concept de travail mécanique n'est pas pertinent. Or, on en verra quelques exemples dans cette étude, la simple présence d'un produit d'un poids par une hauteur suffit fréquemment à un auteur à appeler ce produit "travail", dans une sorte de réflexe positiviste assez surprenant pour notre époque.

Nous prenons la peine de déconstruire ce malentendu à propos de Descartes dans la première partie du chapitre 1, en montrant comment Sérís a déjà réfuté cette proposition¹. Il nous suffit de dire ici que Descartes met en avant le produit d'un poids par une hauteur, qu'il appelle force à deux dimensions, dans son petit traité de statique. C'est un invariant. Très

¹ Remarquons d'abord que cette dernière analyse, de Sérís, semble avoir eu peu d'écho. Nous voyons trois raisons interdépendantes pouvant expliquer la persistance, dans le contexte culturel français, d'une telle idée chez certains historiens ou enseignants :

- Une vulgate tenace de l'histoire de la mécanique, issue du travail des historiens positivistes (Duhem, Dugas) dont on a certes remis en question les démarches depuis longtemps, mais pas toujours les conclusions.
- La persistance d'une tradition "cartésienne" dans l'enseignement physique français, axée sur des méthodes démonstratives puisant leur modèle dans les mathématiques. Ce en quoi la France est très différente de l'enseignement anglo-saxon, très porté sur le sens physique. Or beaucoup d'historiens de la physique sont issus de formations de ce genre.
- Une surévaluation du rôle des procédures formelles dans l'histoire de la physique.

bien. Ceci suffit-il à définir un concept ? Pas vraiment. C'est une condition indispensable, certes, mais ça n'est qu'un squelette sur lequel peuvent venir s'agencer bien des formes.

Derrière cette idée d'un Descartes inventeur du travail on reconnaît en fait la surestimation chronique du rôle des procédures formelles dans le développement de la physique. Donc, pour donner au lecteur une première idée, approximative, de notre démarche nous dirions qu'elle consiste, au sujet de l'histoire du concept de travail mécanique durant le premier 18^e siècle, à diriger le projecteur sur les démarches non formelles ou axées sur des motivations qui ne sont pas premièrement, fondamentalement, des entreprises de croissance de la physique théorique.

Ajoutons immédiatement que cette thèse est cependant remplie de calculs. Les démarches théoriques ne sont donc pas ici exclues, bien au contraire, mais elles ne sont pas celles que l'on attend quand on raisonne sur la base des dits malentendus. Nous y verrons en outre, des calculs liés à l'émergence de la technologie, au sens d'une science des techniques, durant la même période.

Pour mieux saisir notre démarche après cet aperçu, il faut revenir à la date "officielle" de l'entrée du travail mécanique dans la mécanique rationnelle.

En effet, où apparaît officiellement le travail mécanique ? D'où tire-t-il son nom ? C'est chez Coriolis, dans *Du calcul de l'effet des machines* (1829), qu'on voit apparaître l'expression *travail mécanique*, ou simplement *travail*, pour désigner l'intégrale $\int P \cdot dx$. (avec F la force, et dx l'élément infinitésimal de distance parcourue par cette force). Coriolis est à replacer dans un petit cercle d'ingénieurs-savants français, parmi lesquels Navier est au moins aussi important que son collègue. Leur but, fondamentalement, est de réunir la mécanique rationnelle et la science des machines, pour permettre l'anticipation opératoire de la production, et la comparaison des différentes productions sans passer par les prix de marché. Cet aspect est excessivement bien documenté. Nous avons cependant pris la peine de fournir un petit historique en annexe de cette introduction pour le lecteur qui voudrait aller au plus court.

Suivant l'expression bien connue de Navier, il s'agit de forger une *monnaie mécanique*. Cette vision amène Coriolis à appeler travail l'expression formelle citée précédemment, parce qu'elle est la plus pertinente, pense-t-il, à mesurer le travail effectivement réalisé par les agents producteurs, hommes, machines, animaux. L'expression de travail mécanique, en somme, n'est pas une expression métaphorique. Elle est la traduction

dans l'ordre de la mécanique, d'une notion économique et organique. Dès lors, ce que Coriolis effectue, c'est une réinterprétation économique de la mécanique rationnelle pour forger une mécanique industrielle utile au monde de la production. La formation polytechnicienne dont il est issu, tout comme ses collègues, lui permet de réaliser cette ambition.

Ce qu'il faut donc comprendre, ce n'est pas que l'œuvre de Coriolis consiste à appliquer la mécanique rationnelle au monde de la production. Coriolis, en fait, réagence la mécanique rationnelle pour qu'elle soit interprétable économiquement. Autrement dit, avec Coriolis et ses collègues, la nature devient une entité laborieuse. Tout comme la machine productive se voit projeter dans l'ordre de la nature et de ses lois.

Ce sont donc deux traditions qui convergent dans la démarche de Coriolis, d'une part l'héritage de la mécanique rationnelle, et d'autre part la science des machines (pour le dire vite). En forçant à peine le trait, on peut dire que Coriolis n'invente rien formellement. Sa contribution est surtout conceptuelle. Et on ne comprend pas grand chose à cette histoire si l'on se borne à constater qu'il a mis un produit $\int P \cdot dx$ au centre de sa description. Cette dernière optique est la source des malentendus susdits, et conduit à penser que tout était déjà là chez Lagrange, et même chez Descartes, ce qui est faux. Chez eux, il manque précisément l'essentiel, à savoir le concept même, c'est-à-dire son sens physique, ce qui le rend humainement intelligible. La mécanique rationnelle, seule, jusqu'au 19^e siècle, est impuissante à faire émerger le concept de travail mécanique.

Ce qui l'apporte, et Coriolis le montre assez clairement, c'est l'autre tradition, la science des machines, ou plus exactement *une tradition calculatoire de mesure du travail des hommes, des animaux, et des machines*.

Le concept, ainsi, ne se confond pas avec son expression formelle. Ce qui en fait la substance, c'est-à-dire le sens physique, dépasse évidemment la logique des procédures mathématiques.

Ce que nous faisons donc ici, c'est étudier les origines de cette tradition calculatoire de mesure du travail des agents producteurs, car à notre sens c'est là qu'il faut chercher le sens physique de ce qui devient officiellement le travail mécanique au 19^e siècle, ainsi que les démarches qui fondent celles de Coriolis et de ses collègues. Cela n'annule pas la pertinence d'une enquête sur l'autre matériau que vont utiliser Coriolis et ses collègues dans la création du concept, c'est-à-dire certains aspects de la mécanique rationnelle comme l'équation des

forces vives et le principe dit des travaux virtuels, mais ceci n'est pas notre sujet. A notre sens ces aspects n'interviennent que dans un second temps dans l'histoire du travail mécanique. Ils sont un apport, effectué au début du 19^e siècle à la problématique du calcul du travail.

Pourtant, nous disons aussi que le concept de travail mécanique, ou plutôt ses antécédents, est l'histoire de tentatives réitérées d'arrondissement entre les deux mécaniques, théorique et pratique (pour être concis). Mais les éléments entrant en jeu dans cette création d'un monde commun entre elles au premier 18^e siècle, n'ont pas trait à ce que l'on appelle abusivement le principe des "travaux virtuels", mais à d'autres aspects sur lesquels nous revenons dans la thèse.²

Précisons maintenant notre optique et nos influences. Symptomatiquement, les trois œuvres qui nous ont le plus influencés sont celles de Jean-Pierre Séris,³ de François Vatin,⁴ et d'Hélène Vérin.⁵ Pourtant, notre optique n'est ni celle de l'histoire de la pensée économique, ni celle de l'histoire des techniques, ni l'histoire des ingénieurs, ni encore la philosophie ou la philosophie des sciences, ni même la sociologie. Non. Notre point focal, celui depuis lequel nous regardons les choses, se situe dans l'histoire de la physique. Nous cherchons à comprendre comment et pourquoi ce concept émerge dans la physique. Notre recherche nous a conduits à examiner le premier 18^e siècle comme la période dans laquelle se mettent en place les démarches et les intentions desquelles sont directement issues celles de Coriolis et de ses collègues.

Des savants tels qu'Amontons, Parent, Bêlidor, Desaguliers, D. Bernoulli, et minoritairement Pitot, cherchent à répondre à des questions de même nature que les

² *Brièvement ces rapports résident plutôt :*

- (chez Amontons) dans l'utilisation d'un invariant PV mais qu'on ne peut pas réduire à sa manifestation galiléenne ni à un dérivée de la quantité d'action cartésienne (force à deux dimensions), ni à un dérivé de la loi du levier, précisément en ce qu'il dit plus que des dépendances géométriques de la matière.

- (chez Parent, Pitot, Bêlidor) dans la volonté de faire se rejoindre la mécanique des chocs et la mécanique pratique en donnant à un produit PV le nom de quantité de mouvement (seuls les deux derniers lui donnent ce nom, mais on peut en percevoir l'idée chez le premier), précisément parce que le caractère conservatif de cette quantité de mouvement permet de mettre en rapport une entrée et une sortie, une dépense et un gain, condition d'un calcul de rendement. Nous verrons cependant que cela tient plus du manifeste, et que PV n'a pas du tout les caractères d'une quantité de mouvement, mais déjà d'une puissance.

- (chez Daniel Bernoulli, et partiellement Desaguliers) Troisième manière de faire se rejoindre les mécaniques, l'utilisation de la force vive comme résultat de l'exercice du travail des hommes.

³ SERIS, JEAN-PIERRE, *Machine et communication : du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, Vrin, 1987.

⁴ VATIN, FRANÇOIS, *Le travail, économie et physique, 1780-1830*, Paris, P.U.F., 1993.

⁵ VERIN, HELENE, *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Paris, Albin Michel, 1993.

ingénieurs-savants du 19^e siècle, et qui ont traité à la quantification et à l'optimisation de l'effet des agents producteurs, dans leur mise en rapport avec le profit engendré par la production, ou les prix de celle-ci.

Ainsi, pour comprendre comment se construit, se définit le concept, nous avons été obligé d'en passer par des éléments de l'histoire des techniques, de l'histoire des ingénieurs, et de l'histoire de la pensée économique. Mais ceci a toujours été réalisé au travers du filtre de l'histoire conceptuelle, et dans l'optique de comprendre le sens physique de ce que les acteurs manipulent.

Par conséquent, cette lecture orientée ne répond pas à toutes les questions du philosophe, du technicien, de l'économiste. Nous ne prétendons pas nous substituer à ces figures, nous n'en avons pas les compétences. Nous lançons simplement des ponts et traversons les barrières lorsque nous en avons besoin.

C'est ainsi que l'on rencontrera des préoccupations et des thèmes qui ne relèvent pas au premier abord de l'histoire de la physique, mais dont il est tout à fait indispensable de se saisir, si l'on veut recréer l'épaisseur du réel dans lequel évolue ce concept et ses acteurs.

Ainsi, le point que nous soulignons ici, c'est que cette thèse peut être considérée, du moins partiellement, comme une interrogation sur les contours. Nous verrons particulièrement que ce concept n'aurait pas pu émerger sans les techniques, ou sans une rationalité d'entrepreneur, ni sans les pratiques d'ingénieur, ni peut-être sans le réseau de fonctions attribuées au savant dans ce lieu unique que constitue l'Académie Royale des Sciences de Paris. Cette étude invite donc à prendre de la distance avec la notion de contours, particulièrement à une époque où ceux-ci sont encore plus flous qu'aujourd'hui. Sur ce sujet, Robert Halleux dans un ouvrage récent, va jusqu'à militer pour ce qu'il appelle une histoire transculturelle des savoirs,⁶ invitant à enjamber les barrières entre les disciplines pour qu'elles se fécondent mutuellement. Il cite Needham comme le premier représentant d'une telle attitude, et se félicite du nombre croissant de ce type de recherche dans le cadre des rapports entre sciences et techniques.

Mais sur les dialogues entre sciences et société, il est nécessaire de rappeler un peu d'historiographie. L'idée que sciences et société agissent l'une sur l'autre est relativement ancienne. Historiquement le rapprochement entre d'une part l'histoire des sciences en général

⁶ HALLEUX, ROBERT, *Le savoir de la main : savants et artisans dans l'Europe pré-industrielle*, Paris, A. Colin, 2009: 33.

et de la physique en particulier, et d'autre part le contexte économique et politique, a été donné par les historiens marxistes, notamment Boris Hessen⁷ dans les années 30, dont l'analyse, marqué du sceau d'une épistémologie aujourd'hui remise en cause, reste une référence incontournable pour comprendre comment les rapports science-société se sont mis en place, si bien qu'il bénéficie d'une récente traduction en français⁸ et d'une réédition en anglais⁹. John Desmond Bernal¹⁰ poursuivra plus tard dans cette voie, ainsi que Joseph Needham, comme nous l'avons dit¹¹. Après la fondation de la sociologie des sciences par Robert K. Merton, le champ se renouvelle dans les années soixante-dix. D'une « sociologie des scientifiques »¹² qui laissait le contenu cognitif en dehors de son champ d'action, on passe à une sociologie de la connaissance scientifique elle-même (*sociology of scientific knowledge*, ou SSK). Il s'agit alors de traiter le contexte social de manière causale, c'est-à-dire comme l'un des facteurs (non exclusif) déterminant les concepts scientifiques. C'est toute l'école d'Edimbourg, dont l'approche la plus marquante est désignée sous le terme *Strong Programme*, menés par David Bloor¹³, Barry Barnes¹⁴ et auquel Steven Shapin¹⁵ et Simon Shaffer¹⁶ se rattachent. Des avatars plus ou moins heureux de cette approche se sont depuis développés indépendamment, dans toute la mouvance des *Science Studies*.¹⁷ Pour le thème

⁷ HESSEN, BORIS « *The social and Economics Roots of Newton's Principia* », dans Bukharin N.I. et al (éd.), *Science at the cross roads*, London, Franck Cass, 1971 (1931): 151-212

⁸ HESSEN, BORIS, Les racines sociales et économiques des « Principia » de Newton : une rencontre entre Newton et Marx à Londres en 1931, trad fr. par Guérout S., Paris, Vuibert, 2006

⁹ FREUDENTHAL G., MCLAUGHLIN P. (éd.), *The social and economic roots of the scientific revolution* Texts by Boris Hessen and Henry Grossman, Dordrecht, Springer, 2009.

¹⁰ BERNAL J. D. *Science in History*, vol. 2: The scientific and industrial Revolutions, Cambridge, MIT Press, 1965 (1954).

¹¹ Cf. entre autres, NEEDHAM JOSEPH, *The grand Filtration. Science and society in East and in West*, London, Allen & Unwin, 1969.

¹² On peut consulter par exemple GILLISPIE C.C., *Science and Polity in France at the end of the old regime*, Princeton, Princeton University Press, 1980; FOLEY V., *The social physics of Adam Smith*, Lafayette (Ind.), Purdue university Press, 1976 ; BUCK P., « *People who counted : Political Arithmetics in the Eighteenth Century* », dans *Isis* N°73, 1982, pp. 28-45.

¹³ BLOOR D., *Knowledge and Social Imagery*, London, Boston, Routledge, 1976 (2nd edition Chicago University Press, 1991). Trad. Fr. de Dominique Ebnöther : Bloor D., *Sociologie de la logique ou les limites de l'épistémologie*, Paris, Pandore, 1976.

¹⁴ BARNES, B., *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, London, Boston, Routledge and K. Paul, 1974.

¹⁵ SHAPIN S., BARNES B. (éd.), *Natural order : historical studies of scientific culture*, Beverly Hills, Sage Publications, 1979.

¹⁶ SHAFER S., SHAPIN S., *Leviathan et la pompe à air: Hobbes et Boyle entre science et politique*, Paris, La Découverte, 1993 (trad. fr. de Leviathan and the air-pump, Princeton, Princeton university Press, 1985).

¹⁷ PESTRE D., *Introduction aux « sciences studies »*, Paris, La découverte, 2006.

particulier des liens entre science et politique, on peut consulter l'état des lieux qu'en fait Jérôme Lamy dans le n°102 des Cahiers d'Histoire.¹⁸

Cependant, nous tâchons de nous tenir éloigné des systèmes. C'est pourquoi on ne trouvera pas dans cette thèse de revendication d'appartenance à l'une ou l'autre de ces précédentes approches, non plus qu'un vocable théorique spécifique de celles-ci. Cette étude n'a pas l'ambition de fournir en eau le moulin d'une quelconque chapelle. Il est simplement, encore une fois, de comprendre un problème particulier, un problème conceptuel et historique, et nos conclusions ne valent que pour ce sujet.

En guise de système, nous utiliserons l'image utilisée par Ivor Grattan-Guinness dans un article consacré au travail mécanique dans les trois premières décennies du 19^e siècle : *la soupe*. En effet, cette histoire, dit-il, est "*an extraordinary potage of mathematics, mechanics, engineering, education and social change*".¹⁹ Au-delà de la dimension plaisante d'un tel propos, l'image de la soupe a aussi une dimension heuristique. Ceci signifie, si l'on pense que le travail mécanique a précisément comme raison d'être de créer des liens avec les différents éléments de cette soupe, que ce concept n'est pas exactement une lamelle, une simple interface entre deux mondes séparés, mais un espace dans lequel viennent baigner, viennent s'entremêler, les considérations théoriques et productives. Un entremêlement qui n'est pas une juxtaposition, non plus qu'une succession de démarches. Autrement dit, il n'y a pas de différence, dans cette histoire, entre intérieur et extérieur. Il n'y a qu'un milieu, et le travail est précisément cela : une soupe. Ou si l'on préfère, un croûton de pain baignant dans la soupe.

Notre but, notre démarche, est donc de rendre intelligible la soupe du travail mécanique, en examinant une période antérieure d'un siècle à son apparition "officielle", période où se sont mélangés les ingrédients de cette soupe.

Rendre intelligible le réel, qu'est-ce que ça veut dire ? Ce n'est pas montrer qu'il a été nécessaire, tâche inatteignable pour l'historien. Plus modestement, comme l'énonce Michel Foucault, "*ce qui permet de rendre intelligible le réel, c'est de montrer simplement qu'il a été possible*"²⁰. C'est à quoi nous nous attacherons.

¹⁸ Lamy, J. « Penser les rapports entre sciences et politique : enjeux historiographiques récents », *Cahiers d'Histoire*, n°102, Sciences et politique, 2007, 9-32.

¹⁹ GRATTAN-GUINNESS, IVOR, "Work for the workers : *Advances in engineering mechanics and instruction in France, 1800-1830*", *Annals of science*, n° 41, 1984, pp 1-33: 31

²⁰ FOUCAULT, MICHEL, SENELLART, M., EWALD, F. & FONTANA, A. (éd.), *Naissance de la biopolitique*, Paris, Seuil, Gallimard, 2004: 35

Le thème du travail mécanique a été finalement assez peu étudié dans l'optique et la période qui nous concerne. On trouve de nombreuses occurrences concernant le travail, mais presque toujours ponctuelles, souvent teintées de malentendus, et presque aucune étude d'envergure.

Certes il faut citer ici les travaux majeurs de François Vatin sur l'émergence du concept entre 1780 et 1830. Cet auteur montre le parallèle qui existe chez les ingénieurs-savants du 19^e siècle entre le concept mécanique de travail et la notion économique de valeur. En somme ils développent une théorie de la valeur fondée sur le travail mécanique, qui a beaucoup de liens avec la pensée de l'économiste Jean-Baptiste Say. François Vatin nous invite alors à revisiter la valeur, et la place de la nature dans la production de la valeur, un problème que les ingénieurs ne peuvent ignorer.²¹ La période d'analyse de cet auteur débutant en 1780 avec Coulomb, ses conclusions ne sont pas directement transposables un siècle avant. Néanmoins, on retrouvera au fil de nos pages certains éléments de sa démarche consistant à rattacher des pratiques d'ingénieurs-savants avec des aspects économiques.

Sur la même période et en lien avec le sujet, on trouve le travail de Bernard Grall.²²

D'autres études plus restreintes traitent également de l'émergence du concept au 19^e siècle, on pense ici à celles de Grattan-Guinness précédemment citée, de Chatzis²³ plus modestement. On trouve également des éléments sur le rôle de Lazare Carnot chez Gillispie et Youschkevitch²⁴. Il n'est pas le lieu ici de donner toutes les études traitant de la découverte de la conservation de l'énergie à partir d'interrogations sur le travail produit.²⁵

²¹ On trouvera un abrégé de sa pensée dans : VATIN, FRANÇOIS, "Le "travail physique" comme valeur mécanique (XVIIIe- XIXe siècles), deux siècles de croisements épistémologiques entre la physique et la science économique", *Cahiers d'Histoire*, n° 110, 2009, pp 117-135. Pour les développements : VATIN, Le travail, économie et physique, et VATIN, FRANÇOIS, Le travail, sciences et société, Essais d'épistémologie et de sociologie du travail, Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 1999. François Vatin est aussi l'auteur d'études sur Cournot et Dupuit : VATIN, FRANÇOIS, Economie politique et économie naturelle chez Antoine-Augustin Cournot, Paris, PUF, 1998 ; VATIN, FRANÇOIS & SIMONIN, JEAN-PASCAL (éd.), L'œuvre multiple de Jules Dupuit. Calcul d'ingénieur, analyse économique et pensée sociale, Angers, Presses universitaires d'Angers, 2002.

²² GRALL, BERNARD, VATIN, F. (éd.), Economie de forces et production d'utilités- L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891), Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2003.

²³ CHATZIS, KONSTANTINOS, "Economies, machines et mécanique rationnelle: la naissance du concept de travail chez les ingénieurs-savants français, entre 1819 et 1829", *Annales des Ponts et Chaussées, nouvelle série*, n° 82, 1997, pp 10-20

²⁴ GILLISPIE, CHARLES C. & YOUSCHKEVITCH, ADOLF P. , Lazare Carnot savant et sa contribution à la théorie de l'infini mathématique Paris, Vrin, 1979.

²⁵ Citons en une, tout de même, de référence : KUHN, THOMAS S., "Un exemple de découverte simultanée : la conservation de l'énergie", *La tension essentielle, Tradition et changement dans les sciences*, Paris, Gallimard, 1990, 111-156.

Concernant le 18^e siècle, notamment britannique, on trouve quelques études de Cardwell²⁶. Ensuite, existent des études mettant en scène certains des auteurs et des textes que nous utilisons, comme Parent et Pitot, mais sans forcément les relier au concept de travail, comme certaines études sur la science des moteurs hydrauliques telles que les travaux des Belhoste,²⁷ ou sur la mécanique des fluides, comme chez Calero.²⁸

Sur la présence d'un antécédent du travail mécanique chez Bernoulli, on trouve une affirmation non réellement justifiée sur la *potentia absoluta* dans l'introduction à l'édition de l'*Hydrodynamica* de 2002²⁹, et une étude plus fournie et bien documentée de Cerulus sur le prix que D. Bernoulli remportât en 1753, traitant du travail des rameurs, dans la même collection³⁰. Enfin, quelques articles parfois hasardeux où les auteurs croient voir à tort une correspondance entre travail et force vive dans les passages qu'ils citent³¹ (cf. chapitre 4 pour le développement de ces thèmes).

Enfin, la seule étude d'envergure traitant substantiellement du travail mécanique en partie à notre période et dans une optique proche de la notre, c'est-à-dire axée sur les démarches pratiques, figurent dans *Machine et communication*, de Jean-Pierre Sérís³². Néanmoins, l'optique de Sérís est axée sur l'objet machine, et plus exactement sur la constitution d'un savoir sur celle-ci, du 17^e siècle au 19^e siècle. Il reste cependant toujours dans une économie interne à la machine, sauf dans la conclusion, où il ouvre la porte sur l'économie politique. De cette intuition finale, François Vatin s'est saisi dans son livre de 1993 à propos de la période 1780-1830. C'est donc à la suite de Sérís et de Vatin que nous nous plaçons naturellement. Nous avons réexaminé certains des textes utilisés par Sérís, et ajoutés d'autres (Bélibidor, Desaguliers, Pitot, la section X de l'*Hydrodynamica* et le mémoire

²⁶ CARDWELL, DONALD STEPHEN LOWELL, "Some factors in the early development of the concepts of Power, Work and Energy", *The British journal for the history of science*, 3, n° 11, 1967, pp 209-224. Voir aussi: CARDWELL, DONALD STEPHEN LOWELL, "Power Technologies and the Advance of Science, 1700-1825", *Technology and Culture* 6, n° 2, 1965, pp 188-207.

²⁷ BELHOSTE, BRUNO & BELHOSTE, JEAN-FRANÇOIS, " La théorie des machines et les roues hydrauliques", *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 29, 1990, pp 1-17.

²⁸ CALERO, JULIAN SIMON, *The genesis of fluid mechanics, 1640-1780 ("La génesis de la mecánica de los fluidos (1640-1780)")*, Dordrecht, Springer, 2008(1996).

²⁹ BERNOULLI, DANIEL, MIKHAILOV, G. K. (éd.), *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2002: 17-78.

³⁰ BERNOULLI, DANIEL, CERULUS, F. A. (éd.), *Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, Technologie II*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2004: 184-251.

³¹ DE BERG, KEVIN C., "The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy", *Science & Education*, n° 6, 1997, pp 511-527, PACEY, A. J. & FISHER, S. J. , "Daniel Bernoulli and the vis viva of compressed air", *The British journal for the history of science*, 3, n° 4, 1967, pp 388-392, STEELE, BRETT D., "Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution", *Technology and Culture*, 35, n° 2, 1994, pp 348-382.

³² SERIS, *Machine et communication*.

sur les rames de 1753 de Daniel Bernoulli, tous les problèmes de substitution relatifs au chapitre 1, D'Alembert). Nous avons approfondi et élargi la recherche en direction d'une reconstitution du réel qui fait appel à l'ensemble des textes de l'Académie, à une recherche en archives notariales sur certains des acteurs (Amontons principalement), à l'histoire des ingénieurs grâce aux travaux d'Hélène Vérin, à l'histoire économique aussi, en utilisant la pensée janséniste, Boisguilbert et les premiers libéraux, etc.

Pour organiser ces éléments, la thèse s'organise en 5 chapitres autour du concept de travail mécanique à la fin du 17^e siècle et au début du 18^e siècle, principalement dans le contexte français, et notamment (jusqu'en 1737) dans le contexte académique. Deux de ces chapitres (le premier et le cinquième) peuvent être vus comme des chapitres contextuels, mais ceci ne signifie pas qu'ils ont une fonction ornementale. Au contraire, il s'agit précisément de comprendre comment le concept a été possible, de recréer cette fameuse soupe. Il apparaît alors (chapitre 1) que le travail mécanique est une réponse à une mise en problème, la substitution, qui contient déjà les dimensions de la résolution qu'apportera le concept de travail : mécanique, organique, économique. Le chapitre 5 donne à voir la profonde imbrication du concept avec les fonctions des académiciens (ou du moins de certains) à l'Académie Royale des Sciences, à la fois théoriciens, ingénieurs, et juges d'inventions ; il est aussi question de l'émergence de l'Etat moderne, et l'influence d'une vision libérale des intérêts particuliers.

Entourés de ces éléments contextuels explicatifs, se place les trois autres chapitres. Le second traite conjointement d'Amontons et de Parent, qui à notre sens sont les premiers à former la soupe du travail mécanique, en tâchant de ne pas se limiter aux textes scientifiques.

Le troisième est une série de regards croisés permettant de tirer quelques conclusions sur la fortune du concept de 1720 à 1750 environ : le personnage le plus important de ce chapitre est sans conteste Bélidor, qui parvient à faire s'entrechoquer les pensées d'Amontons et de Parent dans une œuvre magistrale, les 2000 pages de *l'Architecture Hydraulique*, qui sera le livre de chevet de Navier, Coriolis et tous leurs collègues ingénieurs. Mais nous analysons aussi la pensée de D'Alembert, telle qu'elle apparaît dans la préface de son *Traité de Dynamique* de 1743, pour mesurer et expliquer toute la distance entre les différentes approches. Ceci nous fournit des éléments pour mettre en avant le rôle de l'équilibre comme

obstacle épistémologique à la création du concept de travail. Desaguliers, et Pitot, sont également analysés ici.

Le quatrième chapitre est entièrement consacré à trois textes de Daniel Bernoulli, les deux premiers tirés de son *Hydrodynamica*, et le troisième étant son texte sur les rames de 1753. Ce chapitre est important en ce qu'il examine la question des rapports entre ces trois concepts que sont la force vive, la *potentia absoluta* et la fatigue. Car la fatigue mérite bien le nom de concept chez cet auteur. Ce chapitre est crucial car on y voit Bernoulli faire entrer le fait biologique, par l'intermédiaire de la fatigue, dans le calcul du travail humain, dans une démarche que Coulomb lui reprendra bien plus tard.

Le résultat principal auquel nous sommes alors amenés consiste à voir les différentes occurrences du concept de travail mécanique à l'époque qui nous occupe, comme les avatars d'une rationalité d'entrepreneur de calcul avantage/coût qui trouve en fait sa source dans la définition d'un art de gouverner mettant la croissance de la puissance de l'Etat au centre de ses exigences. On suggère que ce calcul et l'optimum qu'il exhibe est lié à une vision de la réalité en termes de systèmes de processus interagissant entre eux.

Evoquons à présent les difficultés méthodologiques rencontrées au cours de ce travail :

- Tout d'abord un sujet initial très ambitieux qu'il a fallu redessiner au cours de la recherche. Pour mémoire, l'idée première du projet de thèse prévoyait de relire l'histoire de la physique du 18^e siècle à l'aune des pensées ou préoccupations économiques de l'époque. Nous l'avons réduit à un unique concept, le travail, dans la suite du mémoire programmatique effectué en master 2, l'avancée de la recherche ayant révélé la nécessité d'examiner en profondeur un sujet trop rarement étudié.
- Pour les mêmes raisons, nous avons circonscrit l'amplitude temporelle à un demi-siècle. Une plus grande période aurait nuit à la cohérence. En outre, le point de gravité de la thèse se situant vers 1715, nous avons traité avec plus de détails la fin du Grand Siècle que la fin de notre période. L'extension à laquelle nous travaillerons prochainement consiste bien sûr à rejoindre le territoire prometteur de l'*Encyclopédie*.
- Des déficits structurels, tels que l'absence d'un groupe de travail lyonnais permanent en histoire de la mécanique sur la période 1680-1720.

Cette réduction des objectifs s'est accompagnée d'une extension par d'autres côtés, amenant leurs propres difficultés méthodologiques. Deux exemples :

- L'introduction d'une recherche biographique en archives notariales s'est avérée à notre sens tout à fait indispensable pour comprendre les ingrédients de la fameuse soupe du travail mécanique. Or les archives sont un continent en soi. Il a donc fallu résoudre les difficultés rencontrées par l'acquisition de compétences liées à la paléographie et à l'organisation des archives.
- Ensuite une collaboration engagée en cours de route avec l'Italie durant un séjour de 6 mois à Turin. Quelques mots sur cette dernière. Le but était de donner une dimension européenne à la thèse, en donnant les éléments d'une histoire comparée du travail mécanique au premier 18^e s. Plusieurs difficultés sont apparues. Premièrement, la langue, qu'il nous a fallu apprendre. Deuxièmement la constitution d'un corpus. L'Italie du 18^e siècle est une mosaïque de royaumes dont le fonctionnement est bien différent de celui de la France où nous avons directement à disposition un corpus précieux, celui des mémoires et des procès-verbaux de l'Académie Royale des Sciences. Troisièmement, la structure de la recherche en Italie est ainsi faite qu'il est complexe de discerner les historiens de la physique. Il existe un certain nombre de philosophes des sciences, ainsi que des historiens des mathématiques s'intéressant à des aspects précis de la physique. Cependant les historiens de la physique, physicien de formation, tels que nous, sont une espèce apparemment rare. Les méthodes s'en ressentent. Quatrièmement, il est bien possible que l'Italie ou les Italies, se trouve plutôt du côté des influencés en ce qui concerne le travail mécanique. Des pistes ont été ouvertes, et il conviendra de les poursuivre afin de faire aboutir la recherche.

Sans doute un peu plus de réflexion, un peu moins d'enthousiasme et, en certaines occasions, un peu moins d'entêtement, nous aurait préservés de quelques erreurs.

Néanmoins, il nous semble avoir pu dégager une cohérence. Nous montrons que l'émergence du concept dans le contexte académique français n'est pas un hasard. Cela fait sens avec les fonctions de l'académicien et les mises en problèmes auxquelles il est confronté : monde la production, substitution, démarche d'ingénieur, jugement de l'invention, et volonté de légitimation en forment le cœur. La considération de la force-pour-mouvoir,

cette force mue et qui meut, en rupture avec la force-pour-soutenir (mouvante ou non), apparait tout à fait déterminante. Nous montrons que cette vision du mouvement entre aussi en résonance avec une suite de cassures de la vision de l'équilibre dans différents domaines, au profit d'une vision axée sur des systèmes de processus interagissant. On suggère également que la légitimité du concept tel qu'il apparaîtra au 19^e siècle, est liée à la capacité du concept à calculer, optimiser le travail de tous les agents producteurs dans ses rapports de produit et de coût.

Entamons le chapitre 1.

Chapitre 1 PROLEGOMENES A UNE PHYSIQUE DU TRAVAIL A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (1668-1720)

1.A. INTRODUCTION

Avant d'aborder dans le chapitre 2 la création de deux antécédents du travail mécanique par Guillaume Amontons et Antoine Parent à l'aube du 18^e siècle, nous allons chercher ici à savoir comment ces antécédents font sens avec le milieu de l'Académie Royale des Sciences qui les voit naître. Autrement dit : en quoi l'environnement de l'Académie Royale des Sciences de Paris prépare-t-il la pensée du calcul du travail par Amontons et Parent ? Et quels obstacles génère-t-il ?

Réinsérer ces antécédents dans leur environnement ne sert pas qu'un but documentaire. Le contexte ici, pour ainsi dire, n'est pas contextuel : il n'est pas un décor. Il est explicatif. Ce concept et ses antécédents n'existent pas seuls, ils ne sont pas un produit des seules idées. Détachés de leur cadre, ils seraient incompréhensibles et donneraient l'impression fallacieuse d'être des conceptions spontanées. En outre, leurs logiques ne s'insèrent pas uniquement dans les tensions internes d'une théorie surplombant le monde. Bien plus, ils trouvent racine dans un dialogue constant entre la réalité grasseuse et suante et les descriptions théoriques. Une bonne part de l'histoire de ce concept peut en effet se résumer dans l'interface qu'il opère entre le besoin de caractériser l'activité des hommes et des machines conçue comme travail, et la représentation mécanique du monde. C'est pourquoi il nous faut dans cette histoire, plus encore que dans d'autres, examiner l'environnement dans lesquels naissent ces antécédents. Amontons et Parent apparaîtront ainsi au moins autant comme des continuateurs que des innovateurs.

Mais avant toute chose, notre propos étant que les premiers antécédents du travail mécanique apparaissent à la charnière du 17^e et du 18^e siècle, il nous faut tout d'abord montrer pourquoi Descartes ne peut être qualifié d'inventeur d'une notion de travail dans son *Explication sur les engins*, ce pour quoi on le gratifie pourtant souvent. C'est l'objet du point

B. Nous verrons que cette dernière affirmation est issue d'une époque où dominait une vision rétrospective de l'histoire, dont la démarche a certes été remise en cause depuis, mais pas toujours certaines de ses conclusions. Tel est le cas selon nous, de cette affirmation. Pour étayer la réfutation, si tant est qu'une réfutation soit possible en histoire des sciences, nous verrons que Descartes n'énonce pas sa statique en termes de coûts et de production, que le frottement est rejeté dans la matérialité de la machine, et qu'en guise de travail, on n'observe qu'une équivalence entre deux termes d'une application immobile n'intégrant le mouvement que comme un avatar de l'équilibre. Mais si Descartes ne découvre pas le travail mécanique, il est l'un de ceux qui permirent de le penser, en participant, et avec quel brio, à la création d'un terreau favorable, défini par l'intérêt porté aux machines et la volonté de les réduire au calcul pour en prévoir l'effet.

Dans la même optique, nous verrons (C.) que Salomon de Caus, dans l'œuvre duquel Dugas croit voir le travail, n'invente pas non plus une telle notion. Celle-ci est plus subtile qu'il n'y paraît de prime abord, une formule ne saurait la résumer.

Pour le saisir, nous exposerons d'abord comment les académiciens dès presque la fondation de l'institution, en 1668, abordent la force des hommes et des animaux, ainsi que la force de l'eau, du vent, et de la percussion (D.). Les tentatives de mesure de ces forces mouvantes sont explicitement décrites comme devant permettre le calcul de l'effet des animaux, des moulins à eau, des moulins à vent, et des machines de percussion. Derrières ces phénomènes apparemment divers, l'Académie cherche un cadre unificateur qui lui permette de rendre commensurables les forces entre elles, servant un objectif de comparaison et de prévision. Ceci nécessitera des développements théoriques qui marqueront pour longtemps les recherches de l'Académie. Néanmoins les réponses apportées tiennent toujours à des procédures statiques, et axées sur la réduction de la "force" à une expression pondérale utilisable dans le cadre de ces dernières. On verra pourtant, à propos de la force des animaux, qu'une notion de dépense est introduite, un aspect qui côtoiera fréquemment les futures recherches sur l'effet et le travail.

Nous verrons ensuite comment cette problématique de substitution vient s'agencer tout au long de la période examinée, notamment par un examen des machines présentées à l'Académie (E.) Nous constaterons à cette occasion que beaucoup des machines en question se veulent des moyens de remplacer la force et le travail des hommes, ou inversement proposent de rendre régulier et permanent le travail par une application de forces organiques en lieu et place du vent ou de l'eau là où la topologie n'en permet pas la présence, et rend le

débit variable. Nous formerons l'hypothèse que cette problématique de substitution unit à la nécessité d'expertiser les machines, rend pressante la demande d'avoir un critère permettant le jugement satisfaisant aux exigences mécaniques et économiques.

C'est dans la même optique que nous exposerons les recherches de nouvelles sources d'énergie, telles que la poudre ou le feu. Amontons se place dans la même problématique lorsqu'il donne à l'Académie son étude du moulin à feu où apparaît un antécédent du travail mécanique.

Nous verrons aussi comment le travail des hommes et des animaux est appréhendé à l'Académie dans les diverses recherches sur la force des hommes et des animaux après 1668, montrant une volonté constante de les mettre en rapport. Nous examinerons à cette occasion les mémoires de La Hire sur la force des muscles, ceux de Dalesme sur la force des hommes remontant les bateaux, et les recherches du père Sébastien et de Sauveur sur la force des chevaux et des hommes.

Les académiciens, dès cette époque, veulent calculer l'effet des machines. Mais ils manquent encore d'un indicateur unique. Cela tient notamment à la diversité des machines considérées, et même la définition de ce qu'est une machine. Nous en verrons ainsi un exemple avec la problématique des galères et des rames tournantes (F.), et la différence entre les réponses apportées par des expérimentateurs comme Chazelles pour qui l'effet d'une telle machine ne se mesure qu'expérimentalement et se résume à sa seule vitesse, et les réponses d'un La Hire qui en passe par une modélisation de la résistance de l'eau pour calculer l'effet, dans un mémoire de 1702 promis à une belle fortune. C'est encore une fois à propos d'une machine expertisée par l'Académie, les rames tournantes, et de la nécessité d'en juger l'effet et l'avantage sur les rames classiques, que ce problème naît.

Par ailleurs, si l'on voit apparaître régulièrement le produit d'un poids par une vitesse dans le calcul de l'effet des machines, cette mesure n'est encore que la mesure d'une force inerte : le mouvement de ces machines, au sens d'un mouvement qui ne soit pas une suite d'états d'équilibre ou de quasi-équilibre, ne peut pas être pris en considération par de telles procédures. L'effet ici, se résume à n'être que l'équivalence entre les deux termes d'une application, et ne peut pas en ce sens être qualifié de travail mécanique. En outre, ce produit ne s'applique qu'à certains types de machines.

Issu de cet environnement, le travail mécanique se révélera alors être la clé de résolution d'un complexe de problèmes liés, une clé permettant aux interfaces de la décision,

de la mécanique, et de la maximisation, de cohabiter et de se résoudre en lui. La puissance des solutions qu'il met en œuvre prendra véritablement son élan à partir d'Amontons et Parent.

Nous ne prétendons pas conclure sur un sujet si vaste. Mais simplement, muni du prisme-loupe constitué par le thème de la substitution, amener à observer certaines des lignes forces.

Examinons à présent pourquoi Descartes n'invente pas le travail mécanique.

1.B. DESCARTES OU LE DENI DE LA CAPACITE DE TRAVAIL

Il est de ces textes si connus, si brassés, si étudiés en somme, que toute tentative d'en jeter sur eux un regard nouveau, et critique, semble la marque soit d'un orgueil profond soit d'une méconnaissance certaine. L' "*explication des engins par l'ayde desquels on peyt avec vne petite force lever vn fardeau fort pesant*"³³ correspond bien à cette définition. Les Duhem³⁴, Gueroult³⁵, Dugas³⁶, Milhaud³⁷, Carteron³⁸ et d'autres encore n'ont-ils pas exercé avec succès leur profonde acuité sur cette source ? Le lecteur averti retrouvera donc ici des choses déjà bien connues.

Mais notre but n'est pas ici de rejouer tout ce qui a été dit, ce serait inutile. Les concepts sont nombreux, les liens innombrables et l'érudition nécessaire incalculable. Notre période d'étude étant en outre postérieure. Il ne s'agira pas non plus d'examiner toutes les dimensions du concept de force dans l'œuvre de Descartes. Plus humblement, il ne s'agira que d'apporter une nuance, dans le cadre de sa statique. Mais une nuance essentielle.

Hors de notre période d'étude, a-t-on dit, ce texte est cependant utilisé sans cesse pour discréditer la thèse d'une naissance du concept de travail au sein de la mécanique vulgaire. Les vieux sages nous enseignent en effet que Descartes, dans toute la force de son génie, déjà

³³ DESCARTES, RENE, ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Descartes - Correspondance, vol. I, Paris, Vrin, 1987: 435-449* Les éditeurs ont publié les œuvres de Descartes dans l'orthographe originale, et nous suivons également ce principe. On observera principalement que la forme "u" est fréquemment remplacée par la forme "v" notamment au début des mots, inversement que celle-ci peut être remplacée par celle-là au cœur des mots, et que la forme "i" remplace bien souvent le "j". Ainsi "un" est écrit "vn", "levier" "leuier", "je" "ie", etc.

³⁴ DUHEM, PIERRE-AURICE-MARIE, *Les origines de la statique, vol. I, Paris, A. Hermann, 1905*

³⁵ GUEROULT, MARTIAL, *Leibniz, Dynamique et métaphysique, Paris, Aubier -Montaigne, 1967: 61-70*

³⁶ DUGAS, RENE, *Histoire de la mécanique, Paris, Dunod, 1950*

³⁷ MILHAUD, GASTON, *Descartes savant, Paris, F. Alcan, 1921*

³⁸ CARTERON, HENRI, "L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes", *Revue philosophique de la France et de l'Etranger, 47, n° XCIV (juillet-décembre 1922), 1922, pp 243-511*

mit au jour une telle notion dans son principe général de la statique, d'une manière si évidente que Coriolis n'aurait plus qu'à la nommer deux siècles plus tard. Entre les deux, des développements bien sûr, mais toujours circonscrits aux systèmes théoriques. Ainsi, pourquoi donc vouloir chercher ce concept, sa naissance et ses développements ailleurs ? Mais précisément parce qu'il n'y est pas.

La critique, ici, ne s'adresse pas réellement aux vieux sages cités. Leurs analyses, profondes, souffrent naturellement de l'épistémologie de leur époque, qu'il serait bien ridicule de juger avec les yeux d'aujourd'hui. Toutefois, si nos yeux ont appris à voir la science avec d'autres lunettes, les conclusions auxquels ils sont parvenus n'ont pas toujours été remises en cause. Et quand elles le furent, pas toujours écoutées.³⁹ Ainsi, Jean-Pierre Sérís a réfuté Duhem, si tant est qu'une réfutation soit possible en histoire des sciences : nous la prenons comme point de départ.

Notre propos sera donc d'apporter une nuance quant aux interprétations du principe cartésien de la statique en termes de travail. On tentera de montrer, dans une argumentation que nous empruntons à Sérís,⁴⁰ que la profonde originalité de la mécanique cartésienne n'invente pas le travail. Au contraire, elle le manque tout comme D'Alembert plus d'un siècle après, et pour des raisons finalement assez proches, nous y reviendrons dans un autre chapitre.

L' "Explication des engins" figure dans une lettre de Descartes à Huygens (Constantin, le père de Christian), du 5 octobre 1637, conservé à la bibliothèque de l'université de Leyde⁴¹. Ce dernier lui avait précédemment demandé quelques éclaircissements sur les fondements de la mécanique et les machines simples, peu satisfait de ce qu'en disaient Guidobaldo dal

³⁹ On trouve en effet un certain nombre de textes modernes parlant de travail chez Descartes. Par exemple, Michio Kobayashi, dans un ouvrage consacré à Descartes, énonce, en reprenant les mots mêmes de Duhem : "Ainsi [Descartes] a-t-il bien mis au point la notion de travail, et, en la posant pour principe de la statique, il a établi celle-ci comme « une science autonome » selon le dire de Duhem." (KOBAYASHI, MIKIO, *La philosophie naturelle de Descartes*, Paris, J. Vrin, 1993: 81) Autre exemple, Denis Forest est pour le moins ambigu quand il énonce : "En outre, bien que l'usage conceptuel du terme de travail soit fixé ultérieurement – par Jean-Victor Poncelet (1788-1867), en particulier on trouve également chez Descartes une appréhension définie de la réalité correspondante. [...] Il s'agit bien dans les deux cas de la même quantité de travail, comme produit d'une force par le déplacement de son point d'application." (in FOREST, DENIS, "Fatigue et normativité", *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 1/2001, n° 126, 2001, pp 3-25: 3-4) Hamadi Ben Jaballah, lui, ne semble pas comprendre les arguments de Sérís (BEN JABALLAH, HAMADI *La formation du concept de force dans la physique moderne: contribution à une épistémologie historique. Criticisme cartésien, synthèse newtonienne*, 2 vols., vol. 2, Paris, L'Harmattan, 2006: 279-284)

⁴⁰ SERIS, *Machine et communication*: 211-219.

⁴¹ En complément de ce texte, et le reprenant partiellement, on peut également consulter la lettre de Descartes à Mersenne du 13 juillet 1638, intitulée "Examen de la question sçavoir si vn corps pese plvs ov moins, estant proche dv centre de la terre qv'en estant esloigné" in DESCARTES, RENE, ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Descartes- Correspondance*, vol. II, Paris, Vrin, 1975: 222-245

Monte⁴² et Galilée⁴³, qui ne faisaient “qu’envelopper de superfluités obscures” ce que Descartes, suppose Huygens, pourrait simplement démontrer “en deux ou trois propositions”. La réponse que fit Descartes combla d’aise son illustre correspondant, lequel lui assura : “en ne pouvant me taire de ce que ie possède de si précieux de vostre main, on m’en fera chaudement l’amour de tous costés.”⁴⁴

Ce seul panégyrique suffirait à ce que l’on s’attarde sur ce texte. C’est en celui-ci que s’insère le principe général de la statique⁴⁵ cartésien si connu, que l’on retrouvera à plusieurs occasions⁴⁶ dans l’œuvre du grand philosophe souffreteux. Il s’énonce ainsi :

“la mesme force qui peut leuer vn poids, par exemple, de cent liures a la hauteur de deux pieds, en peut aussy leuer vn de 200 liures, a la hauteur d’vn pied, ou vn de 400 a la hauteur d’vn demi pied, & ainsy des autres, si tant est qu’elle luy soit appliquée.”⁴⁷

Ainsi, insiste-t-il,

“c’est le mesme de leuer 100 liures a la hauteur d’vn pied, & derechef encore cent a la hauteur d’vn pied, que d’en leuer deux cent a la hauteur d’vn pied, & le mesme aussy que d’en leuer cent a la hauteur de deux pieds.”⁴⁸

Descartes nous amène donc à comparer des effets entre eux, pour peu que l’on prenne comme définition de l’effet le produit du poids par la hauteur d’élévation. Et si ces effets sont comparables, la raison essentielle en est que “*l’effet doit estre toujours proportionné à l’action qui est nécessaire pour le produire*”.⁴⁹ Donc c’est le même nombre qui servira à leur comparaison. On assiste ici à un double mouvement : d’une part l’évidence de l’égalité des effets, et d’autre part une décision *d’identification entre l’action et l’effet*.

⁴² DAL MONTE, GUIDOBALDO, *Gvidivbaldi e marchionibvs Montis Mechanicorum liber*, Pesaro, Apud H. Concordiam, 1577 Traduction italienne: DAL MONTE, GUIDOBALDO, *Le Mechaniche, nelle quali si tratta della bilancia, della lena, della tablia, dell’asse nella rosa, del cuneo, della vit...* Trad. in volgare da fil. Pigafitta, Trad. par PIGAFETTA, F., Venise, Franceschi, 1581

⁴³ GALILEI, GALILEO, *Les mécaniques de Galilée, ... avec plusieurs additions rares et nouvelles, ... traduites de l’italien par L.P.M.M [Marin Mersenne]*, Paris, H. Guénon, 1634, MILHAUD, *Descartes savant*

⁴⁴ DESCARTES, *Oeuvres, correspondance I*: 462

⁴⁵ Il faut bien noter que lorsque Descartes emploie le mot de statique, il désigne par là le domaine associé à l’étude des machines simples (poulie, coin, plan incliné, vis, levier), qui ne recouvre pas exactement le sens de la statique moderne, définie par l’absence de mouvement. Descartes en effet fait mention à plusieurs reprises du mouvement des corps au sein de machines simples. La différence entre statique et dynamique, dans les concepts et le vocabulaire, est en cours de formation.

⁴⁶ Par exemple dans la lettre à Mersenne du 13 juillet 1638. DESCARTES, *Oeuvres, Correspondance II*: 228

⁴⁷ *Ibid.*: 435-436

⁴⁸ *Ibid.*: 436

⁴⁹ *Ibid.*

1.B.a. FORCE PHYSIQUE VS FORCE DE L'ÂME

Mais arrêtons-nous un instant : quelle est cette force dont Descartes nous entretient ? Il ne s'agit pas du tout de la prendre comme une force newtonienne⁵⁰, ni même, et c'est là ce que ses contemporains ne comprirent pas de prime abord, comme ayant quelque chose à voir avec une quelconque notion de potentialité, d'effort, ou quoique ce soit qui puisse rappeler les sensations de l'expérience humaine. Descartes s'explique :

“Je veux croire que ie ne m'estois pas cy-duant assez expliqué, puis que vous ne m'auiez pas entendu ; mais i'estois si éloigné de penser à la puissance qu'on nomme la force d'un homme, lors qu'on dit : vn tel a plus de force qu'un tel, &c., que ie ne pouuois aucunement me douter qu'on dût prendre le mot de force en ce sens-là. Et lors qu'on dit qu'il faut employer moins de force à vn effet qu'à vn autre, ce n'est pas à dire qu'il faie auoir moins de puissance : car encore qu'on en auroit dauantage, elle n'y nuit point ; mais seulement qu'il y faut moins d'action. Et ie ne considerois pas, en cét écrit, la puissance qu'on nomme la force d'un homme, mais seulement l'action qu'on nomme la force par laquelle vn poids peut estre leué, soit que cette action vienne d'un homme, ou d'un ressort, ou d'un autre poids, &c.”⁵¹

La force d'un corps est donc une action, autrement dit quelque chose de mesurable, de mathématisable, directement accessible à l'entendement. Cette volonté est essentielle pour comprendre l'œuvre de Descartes qui écrit en effet à la princesse palatine Elisabeth de Bohême :

“[...] nous auons cy-devant confondu la notion de la force dont l'ame agit dans le corps, avec celle dont vn corps agit dans vn autre ; & que nous auons attribué l'une & l'autre, non pas à l'âme, car nous ne la connoissons pas encore, mais aux diuerses qualitez des corps, comme à la pesanteur, à la chaleur, & aux autres, que nous auons imaginé estre réelles, c'est-à-dire auoir vne existence distincte de celle du corps, & par consequent estre des substances, bien que nous les ayons nommées des qualitez.”⁵²

En confondant ces deux notions de forces et en les appliquant toutes deux à la matière, on se méprend dès le départ : car si l'âme est bien distincte du corps de l'homme, et donc si celui-ci est mue par une sorte de substance extérieure, les diverses qualités du corps (pesanteur, chaleur, etc.) ne sont quant à elles pas séparables de la matière, et ne forment pas

⁵⁰ Pour une étude récente sur la force et l'inertie chez Descartes, cf. SCHMIT, CHRISTOPHE, "Equilibre et dynamique. Etudes sur la mécanique française aux XVIIe et XVIIIe siècles: Malebranche, Varignon, sciences des machines et collisions." (Université de Nantes, 2007): 10-47

⁵¹ DESCARTES, Oeuvres, Correspondance II: 432-433

⁵² DESCARTES, RENE, ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), Oeuvres de Descartes - Correspondance, vol. III, Paris, Vrin, 1996: 667 Lettre du 21 mai 1643 à la Princesse Palatine Elisabeth de Bohême (1618-1680)

des substances. Evoquer la force des corps mouvants, ça n'est en somme qu'une façon de parler : il n'existe de fait que l'action⁵³.

Ainsi, la force dont parle Descartes n'est qu'une manière de quantifier l'action des corps dans les machines simples. Elle est effective. Conjugaison de l'entendement à l'étendue; de la potentialité à l'obscurité.

1.B.b. FORCE A DEUX DIMENSIONS VS FORCE A UNE DIMENSION

Cette confusion dénoncée par le philosophe explique que son principe ne fut pas d'abord admis, car la force dont il parlait était mal comprise de ses correspondants. Apprenant de Mersenne qu'on "*fait difficulté d'admettre le principe que i'ay supposé en mon examen de la question Géostatique*"⁵⁴, il lui répond impatientement le 12 septembre 1638, ne pouvant "*attendre vn seul iour a vous en enuoyer vne plus particuliere explication*".⁵⁵ Il y précise alors :

"Il faut sur tout considerer que i'ay parlé de la force qui sert pour leuer vn poids a quelque hauteur, *laquelle force a toujours deux dimensions*, & non de celle qui sert en chasque point pour le soutenir, laquelle n'a iamais qu'une dimension, en sorte que ces deux forces different autant l'une de l'autre *qu'une superdicie differe d'une ligne*. Car la mesme force que doit auoir vn clou, pour soutenir vn poids de 100 liures vn moment de tems, luy suffit aussy pour le soutenir vn an durant, pouruû qu'elle ne diminue point. *Mais la mesme quantité de cete force qui sort a leuer ce poids a la hauteur d'un pied ne suffit pas eadem numero pour le leuer a la hauteur de deux pieds, & il n'est pas plus clair que deux & deux dont quatre, qu'il est clair qu'il y en faut employer le double*"⁵⁶

Entre la force pour soutenir et la force pour mouvoir, on ne parle donc pas de la même chose. Et la différence n'est pas simplement de degré, contrairement à ce que semble suggérer l'ambiguïté de certaines formulations cartésiennes :

"On doit aussy remarquer qu'il faut tousiours vn peu plus de force pour leuer vn poids, que pour le soutenir ; ce qui est cause que i'ay parlé icy separement de l'un & de l'autre."⁵⁷

Usant du même terme, force, pour désigner les deux concepts, Descartes a entretenu la confusion. Force à une dimension d'un côté, et force à *deux dimensions* de l'autre, que ses contemporains ne saisissent pas en première lecture et indifférencient de la précédente, mais

⁵³ On verra dans la suite, chez certains auteurs de l'Académie Royale des Sciences de Paris notamment, que c'est précisément le fait de donner un caractère ontologique à cette force, caractère que Descartes refuse tout comme D'Alembert le fera, qui permettra d'envisager l'idée de transformation de cette force, qui est une des conditions nécessaire à l'apparition de la notion de travail.

⁵⁴ DESCARTES, Oeuvres, Correspondance II: 352

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.: 352-353 Descartes souligne.

⁵⁷ DESCARTES, Oeuvres, correspondance I: 438

qui pour Descartes n'est qu'une action réalisée, et ainsi, la seule dont il veuille, et dont il faille, parler. D'un côté une force unidimensionnelle qui reste identique à elle-même ; de l'autre une force bidimensionnelle dont les effets sont additionnables.

La force à une dimension, cette force pour soutenir, sera rarement, et faiblement, isolée dans l'œuvre de Descartes. On a un exemple d'isolement dans la première citation de ce paragraphe, mais énoncer une différence de dimension ne suffit pas pour préciser la nature de cette dimension. En réalité, la force à une dimension restera un objet presque impensé chez Descartes, car elle se rattache à un mode d'existence hors du champ d'entendement cartésien, c'est-à-dire hors géométrie. Une telle force, en effet, n'est rien d'autre qu'une potentialité d'action, et n'a de sens que par l'action qu'elle représente en puissance⁵⁸. Or Descartes n'accepte pas plus les possibilités d'action qu'il n'acceptera les possibilités de vitesse : ce ne sont pas là des idées géométriques. En effet revenant sur ses propos (retranscrits note 56) il insiste :

“[...] ie ne dis pas simplement que *la force qui peut leuer vn poids de 50 liures a la hauteur de 4 pieds, en peut leuer vn de 200 liures a la hauteur d'vn pied*, mais ie dis qu'*elle le peut, si tant est qu'elle luy soit appliquée*. Or est-il qu'il est impossible de l'y appliquer que par le moyen de quelque machine ou autre inuention qui face que ce poids ne se hausse que d'vn pied, pendant que cette force agira en toute la longueur de quatre pies, & ainsy qui transforme le rectangle par lequel est representée la force qu'il faut pour leuer ce pois de 200 liures a la hauteur d'vn pied, et vn autre qui soit egal & semblable a celui qui represente la force qu'il faut pour leuer vn pois de 50 liures a la hauteur de 4 pieds.”⁵⁹

En tant qu'elle lui soit appliquée. Nulle potentialité ici. La force à deux dimensions n'est examinée que dans sa réalisation, qu'en tant qu'elle est appliquée au poids qu'elle lève. La force chez Descartes n'est pas pensée comme unie à un corps où elle serait d'abord en puissance : la force n'est examinée que comme un acte, un effet, équivalent à l'effet qu'il produit.

1.B.c. EQUIVALENCE ET INDIFFERENCIATION DE L'EFFET ET DE LA FORCE

Mais en outre, Descartes n'en finit pas de se montrer obscur pour ses contemporains puisqu'il utilise le mot de force, à la fois pour désigner l'effet réalisé, et à la fois pour désigner l'action. La distinction entre une force qui serait anthropomorphique et l'effet réalisé grâce à celle-ci, n'est pas pertinente pour Descartes. Une force n'existe pas toute seule,

⁵⁸ CARTERON, "L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes": 253

⁵⁹ Lettre à Mersenne du 12 septembre 1638 in DESCARTES, *Oeuvres, Correspondance II*: 357 Descartes souligné.

détachée de l'étendue. Il réfute ce genre de considération, qui viserait finalement, selon son interprétation, à prendre la force comme une substance. Le concept de force se doit d'être réduit au transport de la matière, une science véritable ne pouvant être que géométrique. C'est pourquoi dans l'esprit du philosophe la force est toujours la force d'élever X livres à Y pieds. La force est toujours la force de faire un effet déterminé. En somme, ce qui fonde l'équivalence de la force (ou action) et de l'effet, c'est que l'on a affaire en fait à deux actions déjà réalisées. On le voit très bien, lorsqu'il écrit par exemple :

“Or il n'y a point, ce me semble, d'autre moyen de connoître *à priori* la quantité de cet effet, c'est à dire combien & quel poids peut estre leué avec telle ou telle machine, que de mesurer la quantité de l'action qui cause cet effet, c'est à dire de la force qui doit y estre employée”⁶⁰

Ainsi, l'effet de Descartes, mathématisable par le produit du poids par la hauteur, est l'équivalent total de la force, exprimable par le même nombre, et qui n'est qu'une quantité d'action. L'effet de Descartes, le pseudo-travail dont parlent les Duhem, Degas, etc., n'est jamais le “travail” d'une force, au sens où nous l'entendons : il est en fait déjà du “travail” réalisé, du “travail” en apesanteur pour ainsi dire, détaché de tout lien. Le “travail” cartésien n'est pas le travail *d'une force*. Alors qu'est-il ? Justement pas du travail, ou que l'on nous explique ce que peut être un travail sans force de travail, un travail produit par rien, un monde où la force n'est pas une capacité de travail, où nulle transformation de force en travail n'est possible. Le pseudo-travail de Descartes n'est en réalité qu'une quantité d'action, c'est bien là tout ce qu'on peut décentement dire. La force de Descartes à deux dimensions, n'est qu'une *force inerte*.

L'équivalence force-effet, est bivalve : d'un côté la force, géométrique, mesurable ; de l'autre, communiquant directement et immédiatement avec la première, l'effet, lui aussi géométrique, mesurable. Des deux côtés, l'action.

Une pratique rétrospective de l'histoire amena les Duhem, Degas, et autres, à employer le terme travail à propos de cette force à deux dimensions, ou de son effet, sans définir le pourquoi d'une telle dénomination. Le produit PH s'imposant à leurs yeux sous le sceau de l'évidence formelle, ils la nommèrent directement par ce terme⁶¹, sans s'arrêter sur le

⁶⁰ *Ibid.*: 433

⁶¹ Ainsi par exemple Gueroult, à propos de Leibniz : “Mais ce résultat lui-même, Descartes semble aussi l'avoir préparé. Il avait prescrit en effet de mesurer la force (statique) par le travail ($P \times s$).” in GUEROULT, Leibniz, Dynamique et métaphysique: 62 Duhem : “Ce principe est la suivant : Le travail (Descartes dit la force) nécessaire pour élever des poids différents à des hauteurs différentes garde même valeur lorsque le produit du poids par son ascension ne change pas.” In DUHEM, Les origines de la statique A chaque fois le mot travail est

paradoxe syntaxique et conceptuel d'un travail sans force, sans être immédiatement perclus par l'impossibilité de parler de travail d'une force chez Descartes. Seul Carteron⁶² sera d'avis que Descartes, laissant dans l'indistinction la force et le "travail" abandonnera cette dernière idée, ce qui ne l'empêchera pas de continuer à l'appeler "travail". Aujourd'hui cependant, on ne saurait plus procéder de la sorte, et il nous faut réexaminer la construction du concept de travail mécanique.

Selon nous, celui-ci est absent du monde cartésien. Un travail d'une *force sans capacité de travail*... On peut faire jouer longtemps le vocabulaire, notre concept de travail n'est tout simplement pas valable dans l'espace temps cartésien. Autant parler de tissu sans tissage, de musique sans notes, ou de musique militaire. Et si on ne peut pas parler de travail d'une force, c'est qu'on ne peut pas parler de travail tout court. Descartes n'invente pas le travail.

C'est finalement, l'attachement exclusif de Descartes à une mécanique qui ne soit que géométrique, qui lui fait manquer la notion de travail.

1.B.d. UN RAPPORT A LA PRODUCTION IMPENSE PARCE QU'IMPENSABLE

- L'absence de cette notion de travail chez Descartes n'a pourtant rien d'étonnant si l'on s'en réfère au concept tel qu'il apparaît sous la plume de Coriolis et consorts deux siècles après. Chez eux en effet, le travail mécanique est l'agent comptable de la transformation en acte d'une potentialité. C'est une rationalité d'entrepreneur en terme d'avantage/coût qui les mène à réutiliser cette mesure, en la raffinant.

Vis-à-vis de ce concept ainsi compris, il manque à la force à deux dimensions de Descartes une composante essentielle qui pourrait la rapprocher de celui-ci: le rapport à la production. Qu'entend-on par là ? Le fait que la force à deux dimensions, cette quantité d'action, ne s'énonce pas en termes de dépense, de consommation d'une force agissante pour la production d'un effet. Précisément parce que la force à une dimension est un objet le plus souvent éludé dans la statique cartésienne.

imposé, sans que l'on sache exactement de quoi on parle, sans dire en quoi il pourrait y avoir continuité avec le concept moderne de travail. A vrai dire, ces historiens semblent plus faire l'histoire du principe qu'on nomme abusivement des "travaux" virtuels, c'est-à-dire des déplacements virtuels, que l'histoire du concept de travail.

⁶² CARTERON, "L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes": 254

Descartes met en avant non pas la transformation d'une quelconque force motrice, sa réalisation dans un effet qui suppose qu'elle soit d'abord en puissance, mais uniquement l'égalité d'un côté et l'autre de la corde, ou de la machine, de la même quantité d'action ou de force à deux dimensions. Le principe ainsi mis en avant est celui d'une équivalence, d'une conservation, pour peu que l'on n'entende pas dans ce dernier terme une notion de transmission de substance. Sans aller jusqu'à qualifier la pensée cartésienne de "cinématique érigée en physique" comme le fait Sérís⁶³, on remarque cependant qu'il n'existe nulle dépense de force, nulle consommation qui produirait un effet au sein de cette physique.

Pour que Descartes en arrive à penser en termes de dépense/création, il aurait fallu qu'il se détache de l'idée géométrique, qu'il cherche au-delà de l'effet géométriquement représentable, la cause supra géométrique de cet effet, en renonçant à identifier la force productrice avec son résultat en acte⁶⁴. C'est dire qu'il aurait fallu qu'il ne fût pas cartésien.

1.B.e. DE LA QUANTITE D'ACTION A LA QUANTITE DE MOUVEMENT

Descartes ne confondra pas, au contraire de cartésiens tels que Catelan ou Papin, la quantité d'action (P.H) et la quantité de mouvement (m.v)⁶⁵. On comprend la facilité de la confusion : dans la statique, on observe que, par coïncidence, les déplacements sont toujours proportionnels aux vitesses. Descartes en est conscient lorsqu'il écrit à Mersenne le 2 février 1643, à propos du levier :

"la raison qui fait que ie reprens ceux qui se seruent de la vitesse pour expliquer la force du leuier, & d'autres semblables, n'est pas que ie nie que la mesme proportion de vitesse ne s'y rencontre touiours"⁶⁶

S'il ne procède pas ainsi, c'est parce que, précise-t-il :

"cette vitesse ne comprend pas la raison pour laquelle la force augmente ou diminue, comme fait la quantité de l'espace, & qu'il y a plusieurs autres choses à considerer touchant la vitesse, qui ne sont pas aysées à expliquer."⁶⁷

Descartes, contrairement à ce que Leibniz lui reprochera plus tard⁶⁸, n'a jamais confondu ces deux quantités, car il se refuse en permanence à intégrer le facteur vitesse dans la détermination de la force, au point de résumer toute le mérite de sa statique à ce seul point :

⁶³ L'expression est en effet exagérée, la notion de force n'étant pas totalement absente de la pensée cartésienne : voir à ce sujet la note 80.

⁶⁴ GUEROULT, Leibniz, *Dynamique et métaphysique*: 68

⁶⁵ *Ibid.*: 65

⁶⁶ *Lettre de Descartes à Mersenne du 2 février 1643 in DESCARTES, Oeuvres, Correspondance III: 614*

⁶⁷ *Ibid.*

“Et si i’ay tesmoigné tant soit peu d’adresse en quelque partie de ce petite escrit de statique⁶⁹, ie veux bien qu’on sçache que c’est plus en cela seul qu’en tout le reste. Car il est impossible de rien dire de bon & de solide touchant la vitesse, sans auoir expliqué au vray ce que c’est que la pesanteur, & ensemble tout le système du monde.”⁷⁰

A ceux qui considèrent la vitesse pour mesurer la force il propose une simple expérience :

“[...] si ayant vne balance en équilibre vous mettez dedans le moindre poids qui la puisse faire trebuscher [...] alors elle trebuschera fort lentement, au lieu que, si vous y mettez le double de ce mesme poids, elle trebuschera bien plus de deux fois aussy viste.”⁷¹

Ainsi ce n’est pas la vitesse en soi qu’il faut considérer : la proportion identique qu’entretiennent vitesses et espaces dans le cas de l’équilibre de deux corps, le levier, est pour ainsi dire un accident, une simple conséquence logique d’un dispositif : ça ne signifie pas que la vitesse soit la *raison* de la force, ou l’expression, exacte et proportionnelle, de la force. La vraie mesure de la force, dépouillée de tout accident matériel, c’est l’espace, abstraction faite du poids.

C’est pourquoi Descartes se permet, moqueur et condescendant, de disqualifier Galilée et les galiléens réunis autour de Mersenne de toute prétention à s’entretenir de choses profondes à ce propos, ou tout du moins à révéler, plus que le comment, le pourquoi des choses :

“Pour ce qu’a écrit Galilée touchant la balance & le leuier, il explique fort bien *quod ita sit* [ce qu’elle fait], mais non pas *cur ita sit* [pourquoi elle le fait], comme ie fais par mon Principe⁷². Et pout ceux qui disent que ie deuois considerer la vitesse, comme Galilée, plutost que l’espace, pou rendre raison des Machines, ie croy, entre nous, que ce sont des gens qui n’en parlent que par fantaisie, sans entendre rien en cette matiere. Et bien qu’il soit euident qu’il faut plus de force, pour leuer vn cors fort viste, que pour le leuer fort lentement, c’est toustefois vne pure imagination de dire que la force doit estre iustement double pour doubler la vitesse & il est fort aisé de prouuer le contraire.”⁷³

Description galiléenne contre cause cartésienne, voilà bien toute l’ambition du philosophe français composant l’*explication* des engins : antériorité philosophique fondant

⁶⁸ Dans *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem* (1686)

⁶⁹ Il fait référence à sa lettre écrite à Mersenne le 13 juillet 1638 traitant de l’ “Examen de la question sçavoir si vn corps pese plvs ov moins, estant proche dv centre de la terre qv’en estant esloigné” in DESCARTES, *Oeuvres, Correspondance II*: 222 sq.

⁷⁰ Descartes à Mersenne le 12 septembre 1638 in *Ibid.*: 355

⁷¹ Lettre à Mersenne du 2 février 1643, in DESCARTES, *Oeuvres, Correspondance III*: 614

⁷² Son fameux principe statique d’équivalence des quantités d’action dont nous parlions précédemment.

⁷³ Lettre à Mersenne du 15 novembre 1638, in DESCARTES, *Oeuvres, Correspondance II*: 433-434

selon lui son aspect plus hautement méritoire. Ainsi, Descartes rénove originalement la définition qu'on avait jusqu'à lui de l'effet d'une force appliquée par le biais d'une machine, en supprimant toute référence à la vitesse. Par ce moyen, force et effet sont libérés de tout occultisme, corollaire d'un anthropomorphisme abscons.

En ce sens, Descartes n'est pas du tout l'inventeur du principe des déplacements virtuels, dit des "travaux" virtuels⁷⁴, comme l'ont noté Carteron⁷⁵ et Gueroult⁷⁶. D'une part parce que le concept de travail est absent de la mécanique cartésienne, on l'a vu ; mais d'autre part parce qu'il se refuse à inclure toute idée de virtualité ou de potentialité dans son système réaliste. A l'idée d'un *pouvoir* des poids à se mouvoir eux mêmes, ce qu'implique en effet un tel principe fondant son intelligibilité dans un devenir, une potentialité, une tendance, il substitue encore une fois celle d'une force en acte, c'est-à-dire qu'il ne considèrera les déplacements qu'en ce qu'ils sont réels, quoique très petits, des déplacements élémentaires. Il est ainsi conduit à concevoir l'équilibre d'une machine à poids *comme un mouvement infiniment lent*.

Si l'on en revient à la vitesse proprement dite, il y aurait alors lieu de s'étonner, une fois évacuée de la statique, de la voir réapparaître au cœur de sa dynamique, dans la formulation de la quantité de mouvement ($m.v$). Descartes serait-il incohérent ? Loin s'en faut. Encore une fois, la cohérence est à chercher dans la position métaphysique cartésienne d'accorder crédit à la force en acte au détriment de la force en production, même si cette dernière, par des subtilités que nous ne développerons pas ici, n'est pas totalement absente de sa mécanique⁷⁷. Toute notion de potentialité, doit être éliminée au profit de la seule expression de la géométrie. La quantité de mouvement est dans cette optique, une force inerte, tout comme l'est la quantité d'action. C'est l'expression d'une réalité actuelle et donnée. Le poids n'apparaît plus, mais seulement une "grandeur" caractéristique du corps, afin de le détacher de toute tendance, le poids étant, en un sens, lui-même créateur de vitesse mais selon des

⁷⁴ *Énoncé sous sa forme moderne, celui-ci revient à dire que le système de point matériels soumis à des liaisons géométriques stationnaires et parfaites, est en équilibre si, et seulement si, la somme des travaux élémentaires des forces actives est nulle pour tout déplacement virtuel du système à partir de sa position d'équilibre.*

⁷⁵ CARTERON, "L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes": 256-257

⁷⁶ GUEROULT, Leibniz, *Dynamique et métaphysique*: 67-68

⁷⁷ *Descartes faisait jouer à la "force proprement dite" un rôle décisif quoique momentané : elle régule l'échange de mouvements (SERIS, Machine et communication: 234) et SCHMIT, "Equilibre et dynamique": 31-32 Ce qui est absent en revanche, c'est une force au sens de la mécanique de Newton ou Leibniz.*

considérations “malaisées à expliquer”.⁷⁸ Ensuite, la vitesse dont il est question est singulièrement dépouillée de son élément dynamique : elle est considérée dans sa dimension d’espace mais bien peu dans sa dimension de temps. Il s’agit d’une quantité de mouvement présente en chaque instant, ou d’une quantité de mouvement transférée instantanément lors de collisions de corps durs. De la sorte, ce n’est que dans l’optique de l’actuel, de ce qui est au moment où il est, que Descartes envisage sa notion. Le v de $m.v$ n’est pas envisagé dans sa dimension potentielle, à l’inverse de ce qu’en fera Leibniz dans son $m.v^2$ où le v^2 prend sens en ce qu’il traduit à quelle hauteur le mobile peut remonter. Descartes est aveugle au fait que la vitesse d’un corps qui tombe est capable de le faire remonter à la hauteur d’où il est tombé pour acquérir cette vitesse ; du moins l’idée d’une liaison synthétique lui fait absolument défaut.⁷⁹

La force pour Descartes n’est pas quelque chose que le corps acquiert, qu’il peut perdre ou gagner qu’il communique, au contraire de la quantité de mouvement, qu’il différencie bien. Elle ne produit pas le mouvement, à vrai dire, mais opère les aiguillages qui en répartissent les degrés. Le statut de la force dans la mécanique cartésienne n’est pas celui d’une “force motrice” : la force qui produit le mouvement, c’est Dieu, qui crée et conserve⁸⁰. Dieu seul agit, Dieu seul est cause⁸¹.

En somme, la dynamique cartésienne ne nous apprend rien sur les machines, ce qui n’est pas le moindre des paradoxes d’une physique qui se veut toute mécanique.

1.B.f. LA QUANTITE D’ACTION N’EST PAS UN CRITERE DE SUPERIORITE NI D’OPTIMISATION

A quoi sert finalement la mécanique de Descartes pour la question des machines ? Déjà, d’une manière beaucoup plus claire que ses prédécesseurs, Galilée compris, il fonde les mécaniques sur un seul principe, intelligible a priori dès que l’on admet l’identité de la force

⁷⁸ On a vu que dans le cas de la statique, Descartes, même s’il parle du poids dans sa force à deux dimensions, ne le considère que sous une forme scalaire, une donnée brute de l’expérience, détachée de toute idée de force en production.

⁷⁹ SERIS, *Machine et communication*: 234

⁸⁰ Plus exactement “Descartes parle de la force de trois points de vue successivement, et en définitive ils se réduisent au premier :

- la force qui produit le mouvement, c’est Dieu qui crée et conserve...
- la force de continuer en l’état, qui dépend de la précédente et s’y ramène,
- la force d’agir ou de résister comme prévalence d’une corps sur un autre qu’il rencontre, qui se ramène à la précédente de poursuivre et de persévérer.” (Ibid.: 232)

⁸¹ Pour les rapports de cette conception avec celle de Malebranche, cf. SCHMIT, “Equilibre et dynamique”

et de l'effet. Le principal mérite de cela est de mettre en avant un critère de calcul de la machine, un calcul de l'effet de la machine, même si cet effet n'est en fait pas différencié de la cause, et ne puisse être appelé travail. Il est quand même calcul de l'action de la machine. Dès lors il peut servir à démontrer le caractère réalisable ou non de machines encore sur le papier, permettant de déterminer si les effets attendus sont susceptibles ou non d'advenir, et si les mécaniciens ne se fourvoient pas en promettant des effets qui dépassent de beaucoup les possibilités offertes par la force effective. Il peut même servir dans une certaine mesure à opérer des substitutions du côté de la résistance que l'on souhaite mouvoir par la machine, afin de s'adapter aux tâches que l'on souhaite réaliser. Ceci, un seul critère, un seul principe, permet de le montrer, et c'est bien là une avancée significative.

La machine elle-même devient désormais une fonction applicative d'équivalence suivant un mode déterminée par la structuration même de la machine. A l'entrée et à la sortie de la machine, il n'y a que des actions, quantités exprimables en termes homogènes. Les effets à la sortie sont exprimables *a priori*, en vertu de son principe. Passer des unes aux autres se fait par application de la machine. Admirable substitution d'une intelligibilité mathématique à une réalité obstinément anthropomorphique.

Mais dans le même temps, cette théorie pratique des engins que veut être la statique est de fait encore très loin de pouvoir prétendre décrire la machine au *travail*. Certes, elle est une première tentative d'arraisonner la machine à la rationalité et au calcul, et offre un critère de faisabilité. Mais au-delà de ça, son principe ne dit rigoureusement rien quand au choix que l'on pourrait opérer entre machines, ou sur la possibilité d'optimisation d'une machine.

En effet, son principe est un principe d'équivalence entre entrée et sortie, si l'on veut. Peu importe la machine utilisée (on parle ici de machines simples), puisqu'on retrouve exactement à la sortie ce qu'on a à l'entrée. L'avantage d'un tel principe n'est pas de donner un moyen de comparaison inter machines, il est uniquement de vérifier la cohérence interne de la description d'une machine. Ca n'est pas un critère de choix inter, mais un critère, le seul critère, de cohérence intra. La détermination d'une meilleure machine n'a donc pas de sens dans cette optique. Il n'y a pas de meilleure machine : il n'y a que des machines possibles et d'autres impossibles, suivant ce qu'avancent les mécaniciens de leurs effets. Descartes, même s'il est conscient de la matérialité de la machine, ne pense pas le *frottement*, pourtant principal défecteur de toute théorie à prétention machinique.

La différence des effets entre machines ne peut être finalement que purement informative et dépouillée de toute considération d'une sélection autre que par l'adéquation

entre la machine et la tâche à réaliser. Une sélection par un critère de supériorité ne fait pas sens ici. De quelle supériorité pourrait-il s'agir ? Entre une machine ayant la force de lever 100 livres à 4 pieds, et une autre de lever 200 livres à 4 pieds, on pourra choisir la première ou la seconde suivant que l'on a à élever 100 livres ou son double : mais cela ne nous dit pas, en dehors de la tâche à réaliser, laquelle des deux serait la mieux conçue. Une réponse naturelle serait qu'entre deux machines, avec la même force motrice, disons le même cheval, ou la même chute d'eau, la meilleure machine soit celle qui donne le plus d'effet. Et l'on pourrait en outre comparer les forces motrices entre elles en les appliquant à la même machine, pour déterminer laquelle produit le plus d'effet. Mais ceci ne correspond en rien à ce qu'énonce le principe de la statique. S'il propose une mesure de l'effet de la machine, ce n'est qu'en tant qu'on puisse rapporter des effets entre eux, ou qu'on puisse rapporter l'effet à la force, toujours sous le signe de l'unité. Si une machine élève 100 livres à 4 pied, elle peut aussi avoir pour *effet* le fait d'élever 400 livres à un pied ; si une machine élève 100 livres à 4 pied, c'est qu'on applique à l'entrée la *force* d'élever 100 livres à 4 pied. Identification des effets entre eux, décision d'identification de l'effet et de la force. Conservation d'une action. A aucun moment ceci n'implique la considération de P.H comme un critère de supériorité de la machine. Il est seulement un critère de rationalité interne.

Il n'existe pas non plus de comparaison des forces motrices entre elles, comme nous venons de le suggérer : Descartes ne pense pas la machine comme mue par un moteur, il pense directement la machine en action, peu importe l'origine de celle-ci. Ca n'est tout simplement *pas son objet*.

Il n'y a ni idée de supériorité intrinsèque, ni idée d'efficacité d'ailleurs. Et donc pas de réflexion sur une possible optimisation. En effet, le "rendement" des machines n'a pas de sens pour Descartes, au vu de sa mécanique : si les actions de l'entrée et de la sortie de la machine sont des quantités homogènes, il ne lui viendrait pas à l'esprit d'en faire le rapport puisque ce rapport serait, par définition de son principe, toujours égal à un, ou dit autrement parce qu'il reste étranger à toute notion de production, et que l'effet n'est pas le fruit plus ou moins parfait d'une consommation nécessaire de force. Réfutant toute notion de force comme *capacité* de travail, ou d'action, il ne lui viendrait pas à l'esprit que de cette potentialité, qu'il refuse, puisse se trouver être réalisée de manière plus ou moins parfaite, et encore moins qu'on put l'aider à s'exprimer plus parfaitement.

C'est dire que sa mécanique n'ouvre aucune perspective quand à l'optimisation de la machine, ni dans sa structure interne pour transmettre plus d'action, ni dans son interface avec

le moteur dans le but de recueillir plus de force motrice. Ce ne sont pas là ses objets. Il s'agit de décrire, non de choisir, encore moins d'améliorer.

En somme, Descartes raisonne sur un système mettant en scène l'acte déjà réalisé, intégralement et directement équivalu à son effet, sans aucune perspective de ce qui fait la raison d'être de la science des machines, c'est-à-dire une technologie non seulement du choix mais de l'optimisation. Malgré la rationalité qu'il offre, son critère, pour important qu'il soit, n'ouvre pas la voie à une perspective technologique, au contraire. Ainsi conçu, il restreint le réel à l'actuel. Dans sa vision, la science des machines n'est qu'une application de la géométrie aux machines, tout comme le pilotage des bateaux ne consiste qu'en une application de la parfaite géométrie de l'astronomie.

Pour aller au delà, il faudra que d'autres esprits soit mus par d'autres questions. Descartes n'est pas un industriel, il ne se pose pas les questions qu'un entrepreneur de la fin de son siècle se poserait face à la matérialité de la machine tels que l'incidence des frottements sur l'effet de la machine, ou l'entretien de la force productive pendant tout le temps de travail. Que sont, en effet, les machines de Descartes ? Où sont les crissements des alluchons⁸², la puissance des volans et des cabestans, les collets et autres rossignols ? Qu'est il advenu des grincements incessants des devoirs et de la torsion des vindennes ? Ou de la marche laborieuse des tambours et des freins, du soutien des heurtoirs, noix et lutons ? Qu'est ce que cette mécanique où ne figurent ni entretoises ni tourtes ni lanternes ni cordes ni augets ni braye ni fuseaux ni noyaux, ni archures, arbres tournants ou hérissons ?

Une mécanique silencieuse, une mécanique de l'esprit, un extrait de réalité, un principe dessiné. La mécanique de Descartes ne produit pas : elle montre une action épurée. Et c'est déjà beaucoup.

1.C. AVANT DESCARTES, SALOMON DE CAUS ?

La proposition de Dugas selon laquelle Salomon de Caus aurait inventé le travail avant Descartes a été beaucoup moins diffusée. Nous allons tout de même nous attacher à la déconstruire, car elle met en lumière certains malentendus classiques à l'égard du concept de travail qui perdurent aujourd'hui. On soulignera ainsi que concept physique et formulation

⁸² Pour une illustration de ces éléments techniques, se reporter à DIDEROT, DENIS & D'ALEMBERT, JEAN LE ROND (éd.), *Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques, avec leur explication.*, 11 vols, Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, 1762-1772 [Agriculture et économie rustique, moulins à vent et à eau, Planche IV]

mathématique ne sont pas un seul et même ensemble. Or on a constaté fréquemment que de simples occurrences d'un produit d'un poids par une hauteur étaient qualifiées de notion ou de concept de travail mécanique, alors même que les auteurs de l'époque ont tout autre chose en tête.

Selon Dugas, donc, Salomon de Caus aurait créé la "notion de travail" mécanique⁸³ dans son ouvrage célèbre : *Les raisons des forces mouvantes*.⁸⁴ Dugas ne donne cependant aucune justification de son propos. Examinons donc brièvement l'œuvre du normand du pays de Caux pour comprendre d'où sort cette affirmation. Extrayons quelques phrases de leur contexte:

"trois liures, pourront bien leuer douze liures, vn pied de hauteur, mais il faudra que les trois liures s'abaissent au moins quatre pieds."⁸⁵

"[...] Ainsi si la force de l'homme leue le point C. comme si c'estoit cinquante liures pesant, le point P. leuera par raison 20. liures, d'autant que le point C. fera quatre fois autant de chemin de mesme temps, comme le point P. aussi, il se rendra esgal, à quatre fois la pesanteur."⁸⁶

Dugas s'appuyait sans doute sur cette relation formelle : Salomon de Caus multiplie un poids par une hauteur, en affirmant en outre que c'est un invariant. Il découvrirait ainsi la notion de travail. Point final. Mais si tel était le cas, on se demande pourquoi il faut attendre 1829 pour que le concept de travail entre dans la mécanique théorique et ce que cette "notion de travail" a de différent avec le concept du 19^e siècle. En outre comment définir cette "notion" ? La multiplication d'un poids et d'une hauteur, la mention d'un invariant, voilà tout ? Mais cela n'est pas un concept. Ce n'est qu'une relation mathématique, et assez pauvre d'ailleurs. Comment faire la différence entre cette "notion de travail", et un moment galiléen (qui en outre, est multiple) ? La force bidimensionnelle de Descartes ? La force vive de Leibniz qui peut aussi s'écrire P.H ? Et puis entre la vitesse et la distance, il n'y a guère de différence si le mouvement est constant : comment alors différencier cela d'une quantité de mouvement ? Et quid du principe des vitesses virtuelles ? La physique et son histoire ne se réduisent pas à cette collection caricaturale et cumulative de formules mathématiques qui se suffiraient à elles mêmes.

Que dit réellement Salomon de Caus ? Il commence dans le théorème X, par monter la "*loy de balance*", c'est-à-dire ce qu'on appelle depuis la loi du levier : dans une balance, "*la*

⁸³ DUGAS, *Histoire de la mécanique*: 124

⁸⁴ CAUS, SALOMON DE, *Les raisons des forces mouvantes avec diuerses machines tant utiles que plaisantes aus quelles sont adioints plusieurs desseings de grottes et fontaines*, Francfort, Jean Norton, 1615

⁸⁵ *Ibid.*: 1, 6 v^o

⁸⁶ *Ibid.*

*force du contrepoids qui fait mouvoir une balance, est proportionnee suivant son eslongnement du point de gravité.*⁸⁷ Ainsi un poids de 12 livres attaché à une distance unitaire de l'axe de rotation, fera équilibre avec un poids de quatre livres situé à l'extrémité opposée à triple distance. Ceci est bien connu depuis des millénaires. C'est l'expression d'une "*raison des proportions*"⁸⁸, suivant son expression.

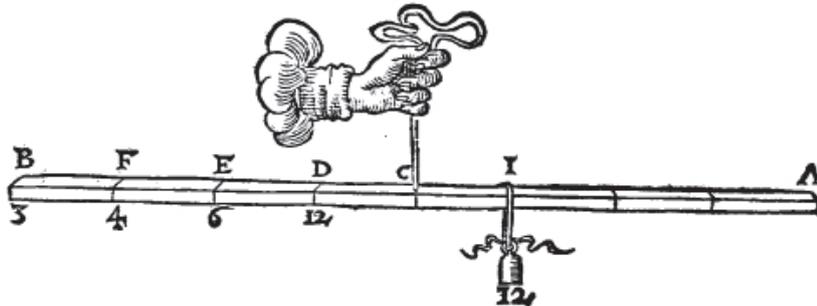


Figure 1 : Illustration de la "loi de la balance" de Salomon de Caus (Les raisons des forces mouvantes, p.6 r°)

Dans le théorème XI, Caus montre que si on abaisse un des fléaux de la balance, et qu'un point situé à une distance OC du point de gravité O parcourt un chemin en arc de cercle désigné par CI, alors le point E situé deux fois plus loin du point de gravité O parcourra un chemin en arc de cercle deux fois égal au premier, et le point F situé trois fois plus loin du point de gravité O fera un chemin en arc de cercle trois fois égal au premier, etc. (Figure 2) Ceci permet à Caus d'énoncer que la proportion donnée au théorème précédent, la loi de la balance, notre loi du levier, peut indifféremment s'exprimer par la multiplication des poids par le chemin parcouru par les poids dans ce levier, puisque les arcs de cercle sont proportionnels à la distance des poids au centre de rotation. Bref, ce que Caus fait ici est simplement une autre expression de la loi de la balance, ou loi du levier : ni plus ni moins que de la géométrie.

⁸⁷ *Ibid.*: 1, 5 v°

⁸⁸ *Ibid.*: 1, 6 r°

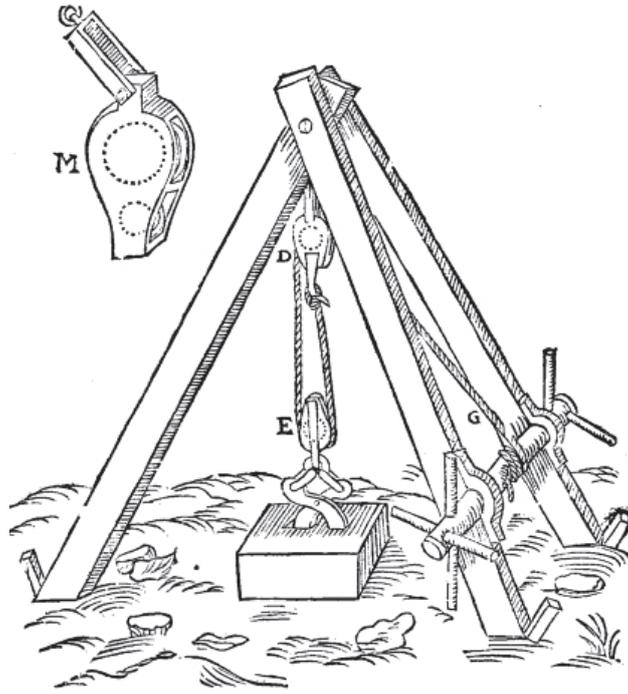


Figure 3 : Elévation d'un poids par une moufle (Les raisons des forces mouvantes, p.7 r°)

Ici comme avant, pas de concept de travail mécanique. Les mesures en question ne s'extraient pas des dépendances géométriques des machines et sont en grande partie un autre nom de la loi du levier ou de la balance. Les procédures utilisées restent dans le giron de la statique, et le mouvement n'est qu'un avatar de celle-ci. En outre, on ne trouve pas trace ici d'un calcul de l'effet compris comme dépense d'une potentialité, comme ce sera le cas chez Amontons, ni d'une notion de force-pour-mouvoir au sens d'Amontons ou Parent. Pas d'effet ou de force en production. Cette mécanique se rapproche plutôt d'une science des proportions, de la géométrie. C'est déjà beaucoup, et il est inutile d'essayer de lui faire dire autre chose.

Examinons à présent comment l'Académie appréhende le calcul de l'effet et du travail depuis sa fondation.

1.D. UN PROGRAMME DE RECHERCHE TOTAL : MESURER LES FORCES MOUVANTES (1668-1669).

Le premier élément significatif de la généalogie du concept de travail à l'Académie est un programme de recherche total traitant des forces mouvantes, lancé dès ses premières splendeurs dans l'enthousiasme d'une jeunesse soutenue par un pouvoir ambitieux. Si on ne trouve pas la mention explicite dans les procès-verbaux qu'il s'agit là d'un seul et même programme de recherche, la concomitance des réflexions sur les diverses forces et les liens

que les académiciens tissent entre les résultats des différentes recherches nous amènent à penser qu'il existe une cohérence profonde, exprimée dans la sourde ambition de ramener toutes ces forces à celle que l'on connaît et que l'on pense le mieux : le poids.

Ce programme est significatif, en ce qui concerne son premier élément c'est-à-dire la force des animaux et des hommes, en ce qu'il s'intéresse à des entités au travail. Il va chercher à caractériser ce qu'on appelle alors la force des hommes, mais dans des contextes laborieux. La mesure dans un contexte laborieux n'est pas encore une mesure du travail mécanique. Les autres éléments de ce programme, forces de l'air, de l'eau, de la percussion, sont significatifs, quant à eux, de l'intérêt explicite des académiciens dans une problématique de substitution des forces entre elles. Combien d'hommes, combien de chevaux, peuvent remplacer l'eau et l'air dans un moulin ? C'est la raison d'être, ou du moins la justification, de l'étude de ces éléments tempétueux, que ce soit la mesure de la force d'un cheval, et sa proportion avec celle d'un homme⁹⁰ (Roberval, et Buot), la mesure de la force mouvante de l'air⁹¹ (Huygens), celle de l'eau⁹² (Huygens également), ou ces deux dernières prises ensemble⁹³ (Mariotte et Huygens). Corollairement, on eut aussi l'idée de mesurer la force de percussion (Frenicle). En dernière instance, ce leitmotiv de substitution, au cœur de toutes les expériences menées, tend à la réduction de toutes les forces à celle de l'homme, la première qu'on a l'idée de réduire à l'élévation d'un poids.

Hautement symptomatique de l'état d'esprit présidant à sa naissance et de la définition des missions confiées par Colbert, les thématiques issues de ce programme marqueront pour longtemps l'institution.

1.D.a. LA MESURE DE LA FORCE DES HOMMES ET DES CHEVAUX

« Voilà le cheval dont les talents sont développés, dont l'art a perfectionné les qualités naturelles, qui dès le premier âge a été soigné et ensuite exercé, dressé au service de l'homme ; c'est par la perte de sa liberté que commence son éducation, et c'est par la contrainte qu'elle s'achève : l'esclavage ou la domesticité de ces animaux est même si

⁹⁰ ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, FONTENELLE, B. L. B. D. & GODIN, L. (éd.), *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 11 vols., Paris, Compagnie des libraires, 1729-1733: 1, 70-73, ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (éd.), *Procès-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences: T.3 (1667-1668, Registre de mathématiques)* f°74 r°-78 v°

⁹¹ PV ARS: T.6 (1669- Registre de physique), f° 18 r°19 r°, 59 r°- 70 r°. Attention, dans les travaux plus anciens, ce tome est souvent dénommé T.5 (1669- Registre de mathématiques). Reprenant ici les côtes de la BnF, nous l'indexons en 6^e de la série des PV.

⁹² Ibid.: T.6 (1669- Registre de physique), f° 1 r°-17 v°, 55 r°- 57 v°

⁹³ Ibid.: T.6 (1669- Registre de physique), f° 71 r°- 125 r°

universelle, si ancienne, que nous ne les voyons que rarement dans leur état naturel ; ils sont toujours couverts de harnais dans leurs travaux ; on ne les délivre jamais de tous leurs liens, même dans les temps du repos ; et si on les laisse quelquefois errer en liberté dans les pâturages, ils y portent toujours les marques de la servitude, et souvent les empreintes cruelles du travail et de la douleur : la bouche est déformée par les plis que le mors a produits, les flancs sont entamés par les plaies, ou sillonnées de cicatrices faites par l'éperon, la corne des pieds est traversée par des clous, l'attitude du corps est encore gênée par l'impression subsistante des entraves habituelles ; on les en délivrerait en vain, ils n'en seraient pas plus libres... »

Buffon⁹⁴

1.D.a.i ENONCE DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Au début de l'été 1668, le mercredi 27 juin, l'un des deux jours d'assemblée de la compagnie avec le samedi, Roberval expose les réflexions sur le sujet des forces mouvantes des animaux au sujet desquelles il avait été député, selon Galloys. Animal s'entend au sens large, incluant les êtres humains. Après avoir fait remarquer qu'un homme n'agit que de deux manières, soit en tirant, soit en poussant, il suggère de mesurer :

1. la force d'un homme qui agit de toutes ces manières,
2. quelle est la proportion de la force d'un homme à celle d'un cheval,
3. ainsi que la proportion de celle d'un cheval à celle d'un bœuf
4. quelle est la force d'un homme qui tire de bas en haut un poids attaché à une corde quand il est assis ou debout, les bras pendant en bas
5. quelle est la force d'un homme qui tire ayant un pied plus élevé que l'autre (Roberval prend l'exemple de l'ouvrier travaillant à la presse de l'imprimerie ; mais on peut observer que le galérien travaille aussi de cette manière)

⁹⁴ Buffon, *Histoire naturelle générale et particulière avec la description du Cabinet du Roi*, Paris, 15 vol., t. IV, 1753, cité dans l'édition de 1824, pp. 178 sq, cité in ROCHE, DANIEL, *La culture équestre occidentale, XVIe-XIXe siècle l'ombre du cheval I Le cheval moteur, essai sur l'utilité équestre*, Paris, Fayard, 2008: 18 A noter qu'une édition des œuvres complètes de Buffon est en cours depuis 2007 : BUFFON, GEORGES-LOUIS LECLERC, SCHMITT, S. (éd.), *Oeuvres complètes*, 38 vols., Paris, Champion, 2007 (*Histoire naturelle, générale et particulière avec la description du Cabinet du Roy (1749-1788)*) A ce jour (2011), trois tomes sont publiés. Le contraste est grand entre Buffon et nos protagonistes. S'ils examinent la peine des chevaux, ce ne sera qu'en ce qu'elle affecte le produit de leur effort. Gardons nous d'en conclure que l'état d'esprit des Lumières explique seul ce décalage : un savant tel que Daniel Bernoulli, parfaitement contemporain de Buffon, n'aura cure du bien être ou de la souffrance des hommes de peine quand il s'intéressera aux travaux des rameurs, comme nous le montrerons dans le chapitre que nous lui consacrons (cf. infra). Appréhendant les navires comme des mécaniques froides et globales qu'il s'agit d'optimiser, Daniel Bernoulli ne juge des dispositifs qu'en fonction de leur rentabilité mécanique.

6. et enfin combien de temps un homme peut continuer à élever en l'air un poids "proportionné à ses forces" en tirant par une poulie

Ces propositions ne seront pas toutes expérimentées. Ainsi en sera-t-il de la mesure de la force d'un bœuf, pour des raisons purement logistiques de difficultés à se procurer un tel animal le jour fixé, et des cinquième et sixième propositions, sans doute par manque de temps.

Frenicle, prenant la parole à la suite de Roberval, propose de compléter ce programme en lui adjoignant toute une série de mesures concernant la force de percussion et la chute des corps pesants, tout à fait symptomatique des débats scientifiques de l'époque, nous y reviendrons. Au moyen d'une machine adéquate composée principalement d'un pieu, il serait aisé nous dit-il,

1. de mesurer la force d'un homme frappant ce pieu au moyen d'un maillet, par l'enfoncement auquel ce pieu sera sujet,
2. puis de chercher de quelle hauteur le maillet doit tomber sur le pieu pour provoquer un enfoncement égal.
3. Dans la même veine, il propose de chercher quelle doit être la "pesanteur" d'un maillet provoquant ce même enfoncement, s'il est lâché de la hauteur à laquelle l'ouvrier élève son maillet.
4. Il ajoute que l'on pourrait également comparer ces forces avec "celle du poids qui feroit le mesme effet en mesme temps", si ce poids était posé sur le pieu sans vitesse.

Frenicle ne s'en tient pas là, puisque cette mesure de la force de percussion s'accompagne d'expériences sur la mesure de la force des corps pesants. Ainsi, il souhaite éprouver

1. de quelle proportion s'augmente l' "action" d'un corps pesant qui tombe de diverses hauteurs, pour déterminer si elle suit la proportion de leurs vitesses
2. quelle est la force des ressorts comme celle d'un arc ou d'une arbalète, suivant leurs diverses grandeurs, figures et matières
3. s'il existe une différence dans la force qu'il faut pour bander un arc, suivant qu'on immobilise ses deux extrémités comme à l'ordinaire, ou qu'on l'immobilise par le milieu

4. quels poids les hommes et les chevaux peuvent tirer dans un “beau chemin” par le moyen d’un chariot ou autre machine, pour le comparer avec celui que ces animaux peuvent lever en l’air. De même il faudrait mesurer quel poids pourrait mouvoir un chariot, ou une machine similaire, vides. De la sorte, pense Frenicle, l’on pourrait connaître la résistance qu’apporte d’une part l’inégalité du chemin, et d’autre part la pesanteur.
5. dans quelle proportion croît la résistance du chariot lorsqu’on augmente la pesanteur.
6. quelle est la résistance des autres machines, et quelle force il faut pour les faire remuer à vide.

1.D.a.ii “PONDERE, NUMERO ET MENSURA” : REDUIRE L’ANTHROPOMORPHISME A LA MESURE

On ne peut rêver programme plus empirique. L’Académie, d’inspiration partiellement baconienne, montre ici toute sa foi dans la connaissance construite sur l’observation, l’expérience et la mesure. Tranchant avec l’attitude cartésienne, les fondateurs de la compagnie se méfient des systèmes. Il s’agit de rebâtir toute la connaissance humaine, et ceci ne pourra se faire qu’en commençant à examiner les choses qui peuvent paraître les plus simples. D’un autre côté, cette connaissance, nous disent ils en substance, ne saurait être que vaine spéculation, quand même bien fondée sur l’observation. Fontenelle, alors qu’il écrira l’histoire de l’Académie des années 1666-98, soixante années plus tard, traduit bien ce double rapport, et le danger qu’il y aurait, politiquement comme scientifiquement, à opposer les deux :

“L’utilité visible & palpable de la Méchanique meritoit que l’Académie cultivât cette Science avec un soin particulier, ne fût-ce que pour éviter le reproche de donner trop aux spéculations. On en fit quelques-unes d’abord sur la Méchanique même ; mais aussi-tôt après on en vint à une pratique, & à des choses de fait, qu’on ne pouvoit jamais traiter de vaines curiosités.”⁹⁵

Les savants ne sont pas de vains curieux, donc, mais des hommes pensant la connaissance dans sa finalité, son utilité. Il ne s’agit pas pour eux, comprenons le bien, d’opposer spéculation et utilité, mais au contraire de les allier, au moins dans les intentions. La connaissance construite doit être d’utilité publique, dans le sens si possible d’une croissance de la puissance de l’Etat. Si cette ambition est bien connue, et a été depuis longtemps documentée par les historiens, dans les domaines de la cartographie, ou de la

⁹⁵ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, *Mémoires de l’Académie Royale des Sciences*: 1, 70

géométrie astronomique, ces derniers ont été moins prompts à étudier le problème de la force sous son aspect utilitaire. Certes, Briggs a déjà montré que l'utilité affichée de l'Académie au 17^e siècle n'avait pas eu de réelles conséquences sur la production de nouvelles machines.⁹⁶ Mais le problème, selon nous, n'est pas là. Car quand bien même la connaissance n'ait pas été appliquée à la création de nouvelles machines comme la connaissance spéculative a pu l'être parfois (pensons à l'horloge à pendules de Huygens, application directe de sa théorie des centres d'oscillation), il n'en reste pas moins l'ambition affichée de vouloir comprendre et théoriser la réalité dans sa matérialité grinçante et suante. Il n'en reste pas moins que l'une des motivations pour les académiciens construisant petit à petit ce qui deviendra le concept de force, réside précisément dans cette matérialité, dans cette appétence ambitieuse de soumettre le monde de tous les jours à l'empire du calcul. Croire que le concept de force ne doit rien à de tels débats, et les reléguer dans l'univers baroque d'une science tâtonnante, est injuste, voire malhonnête. Notre propos n'est pas la force, cependant.

Si nous nous intéressons présentement à ces aspects très matériels, très paysans pourrait-on dire, à la force des animaux, à l'enveloppe si terreuse, en proie à la production, à cette sourde puissance des bêtes dirigées à œuvrer le monde, c'est précisément parce que c'est ici que commence notre histoire du travail, dans l'intérêt empirique que des scientifiques baignés de science baconienne vont accorder à la réduction au calcul de bêtes et d'hommes au travail. Dans cet intérêt très vif à vouloir caractériser l'action des hommes, par un indicateur calculable. On observe ici les débuts d'une volonté de technologie qui trouvera à s'affirmer pleinement au tournant du siècle, chez Amontons, un peu, Parent, bien sûr, et d'autres.

Mais pour l'instant, en 1668, le concept de travail mécanique lui-même n'est pas ébauché. Avant d'en arriver là il faut trouver à le calculer, à calculer l'action des hommes. En ce sens, les protagonistes du programme de recherche cité, sont à la fois pré et post cartésiens. Post, car l'on sent une même volonté de trouver une mesure de l'action ; pré, en ce qu'ils n'utilisent pas la mesure de Descartes, du moins dans ces travaux-ci. Ils cherchent, au contraire de Descartes, à ne pas passer sous le tapis cette force à une dimension que Descartes isole rarement, et mal. Il semble qu'ils aient conscience que l'on ne pourra parvenir à rien si l'on n'éclaircit pas les bases de la connaissance: or une action mesurée par un produit dont au final on ne saisit pas une des dimensions, est au moins insatisfaisante, si ce n'est inefficace.

⁹⁶ BRIGGS, ROBIN, "The Académie Royale des Sciences and the Pursuit of Utility", *Past & Present*, n° 131, 1991, pp 38-88

Descartes était gêné par le statut de cette force unidimensionnelle, qu'il refusait de penser en production. Les académiciens, eux, choisissent de réduire toutes les forces motrices au poids. Ce faisant, ils pensent le poids comme responsable du mouvement, ils pensent le poids et la force en production.

Plus prosaïquement, plus pratiquement, il s'agit aussi de connaître empiriquement quel poids un animal peut lever dans diverses situations. Si on ne sait pas à quel poids équivaut la force d'un homme qui pousse ou qui tire, si on ne sait pas quelle proportion de la force va s'appliquer suivant l'angle que fera notre ouvrier avec la surface d'application de sa force, alors toutes nos théories et nos invariances n'auront rien d'utile. Ce que cherchent les savants ici, en bons empiristes, c'est tout simplement à mesurer la force d'un homme dans son sens le plus immédiat, celui que l'on utilise en parlant d'un homme plus fort qu'un autre : cet homme est fort, soit, mais comment le calculer, de combien est il fort ? Voilà bien ce dont il s'agit ici, attribuer un chiffre à une notion dont les systémistes, de Descartes à D'Alembert, se méfieront grandement, précisément à cause de son caractère anthropomorphique. Mais c'est précisément le caractère anthropomorphique de ces hommes et de ces bêtes en action et au travail, qui permettra ensuite de penser non plus seulement la force, mais le travail des hommes et des animaux. Ceci ne signifie pas pour autant pour nos savants, bien entendu, une volonté d'atteindre la cause première ou une quelconque essence des choses. Ca n'est pas leur problème, et à ce titre certains d'entre eux, dont Roberval, font preuve d'une philosophie proche du matérialisme⁹⁷. Tout le problème étant, partant de là, de trouver une mesure qui puisse échapper au cas particulier de l'animal agissant.

⁹⁷ *En tout cas, Roberval ne se soucie guère de Dieu ou de la métaphysique : Baillet le qualifie de "bon payen" (JULLIEN, VINCENT, "Descartes-Roberval, une relation tumultueuse", Revue d'histoire des sciences, 51, n° 51-2-3, 1998, pp 363-372: 370), et il ne possède en guise d'ouvrages religieux qu'une bible latine, plus exactement la quatrième édition de la bible éditée par le protestant Sebastian Castellion (Cf. NOTAIRES LEVESQUE ET LÉBOUCHER, " Paris, Archives nationales, 1675 cité in GABBEY, ALAN, "'Pondere, Numero et mensura", Roberval et la géométrie divine", Revue de synthèse, 122 (4e série), n° 2-3-4, 2001, pp 521-529: 526-527). Il énonce d'ailleurs :*

"Touchant les parties de la philosophie, la logique peut surprendre et être surprise. La morale est changeante, flatteuse et veut être flattée : elle est souvent remuée et ruinée par ses ennemis. La métaphysique est fort chymérique[...] mais malgré leur logique captieuse , malgré les chymères de leur creuse métaphysique, la nature demeure toujours telle, constante en son être véritable : et la morale, avec toute sa flatterie, avec toute l'autorité de ses partisans, quelque nombre de voix qu'elle produise dont elle mendie les suffrages ne recevra qu'un affront si elle entreprend quelque chose à son préjudice. Enfin [...] la physique [ne se soucie] ni des vieilles ni des nouvelles chymères que les visionnaires ont fait et font encore tous les jours à son égard" (ROBERVAL, GILLES PERSONNE DE, "L'évidence, le fait avéré, la chymère", Paris, Archives de l'Académie des Sciences Cité par JULLIEN, "Descartes-Roberval": 370)

Peut être faut-il voir là la source de son conflit récurrent avec Descartes quelques années plus tôt. Que les deux hommes se soient détestés ou non (Descartes tient en effet des propos ambigus envers Roberval, le célébrant ou le lapidant suivant les cas : cf. JULLIEN, "Descartes-Roberval") , toujours est-il que leurs relations étaient pour

En ce sens, il n'est pas anecdotique ni fortuit que les réflexions sur la force mouvante de l'air et de l'eau au sein de l'Académie, soient concomitantes de celles sur la force mouvante animale. En effet, nous le verrons par la suite, l'animal en général, et l'homme en particulier, sera toujours pensé comme le référent absolu. Partant de lui, la mesure de la force puis du travail, se devra, lorsqu'elle s'appliquera à l'eau ou l'air, de pouvoir se ramener ensuite à l'homme : autrement dit, la mesure de la force et du travail des éléments ne sera jamais gratuite, mais toujours ramenée à un jeu de comparaison dont l'homme sera le plus petit commun dénominateur.

En outre, revenir à une définition minimale de l'action comme force *mouvante*, c'est, par cet adjectif verbal même, se placer plus du côté de la cause du mouvement. Une attitude sensiblement différente de celle d'un Descartes pour qui la force à deux dimensions, l'action, était toujours du côté du second : sa force était toujours la force de produire un certain effet, pensée par son résultat, équivalu ensuite à l'action d'entrée. Les académiciens renversent donc ici la logique cartésienne, dans un double mouvement : mesurer ce qui meut, l'entrée, d'une part ; mais mesurer également la force à une dimension, la force qui soutient, sans quoi la force à deux dimensions est inatteignable.

La devise de Roberval semble bien être celle qu'il s'attribue dans l'Aristarque : "Pondere, numero et mensura" (poids, nombre et mesure)⁹⁸. C'est dans cet esprit qu'il propose son programme de recherche sur les forces des animaux. Examinons comment.

le moins orageuses. « Monsieur de Roberval [...] avait la réputation d'être le principal des adversaires de notre philosophe », commente Baillet en 1691 (BAILLET, ADRIEN, La vie de monsieur Descartes, 2 vols., vol. 1, Paris, D. Horthemels, 1691: préf., XXXI Cité par JULLIEN, "Descartes-Roberval": 370). Et Descartes le lui rendait bien, complimentant Roberval pour "la médiocrité de son sçavoir & de son esprit", ou affirmant, superbe : « [...] il lui faudra plus d'un siècle à bien entendre ma géométrie » (Lettre du 11 octobre 1638 à Mersenne, DESCARTES, Oeuvres, Correspondance II: 379-402 Cité par JULLIEN, "Descartes-Roberval": 368 Le même jour, à Fermat, il affirme que Roberval « est sans doute aussi l'un des premiers géomètres de notre siècle », JULLIEN, "Descartes-Roberval": 368). Leur querelle est célèbre, et Mersenne ne peut s'empêcher de remarquer que « ces deux personnages se méprisent si fort l'un l'autre que c'est une chose merveilleuse » (JULLIEN, "Descartes-Roberval": 363).

⁹⁸ Alan Gabbey remarque que l'Aristarque de Roberval [ROBERVAL, GILLES PERSONNE DE, Aristarchi Samii De mundi systemate, partibus et motibus ejusdem libellus. Adjectae sunt Ae. P. de Roberval,... notae in eundem libellum, Paris, A. Bertier, 1644] est truffé de l'abréviation « P.N.E.M. » Les mots qui s'y rapportent sont tirés Livre de la Sagesse, XI, 20, de l'ancien testament : "Pondere, mensura, numero Deus omnia fecit ». Ils sont présents à l'époque chez beaucoup d'auteurs qui veulent louer Dieu géomètre. Roberval n'étant en rien religieux, Gabbey forme l'hypothèse que ce verset était devenu une sorte de devise officielle pour les professeurs de mathématique du Collège royal. Ce qui n'empêche pas que, dépouillé de considérations religieuses, Roberval ait pu aimer ce verset pour le caractère géométrique qu'il suppose à la nature.

Concrètement, de telles expériences demandent de l'espace et du matériel. C'est pourquoi on charge Richer, Niquet et Couplet de préparer les dites expériences sous les ordres et la supervision de Buot. Sur quoi la compagnie décide de se rassembler extraordinairement sur le site de l'Observatoire, alors en construction⁹⁹, le mardi suivant, 3 juillet 1668, dès 8 heures du matin afin de procéder à ses expériences.

Pour celles-ci, des machines sont nécessaires, plus exactement une grue. Or, précédemment, l'Académie avait chargé Niquet et Couplet de faire faire des modèles des divers machines les plus en usage. En effet, nous précise Fontenelle, "*elle crut qu'en les examinant avec attention elles trouveroit peut-être des moyens de les perfectionner, ou de les simplifier ; M. Niquet détailla plus particulièrement la Grue & l'Engin ; il en décrivit toutes les parties, il en fit remarquer les défauts, & donna des moyens de les éviter.*"¹⁰⁰

Après l'examen du moyen, vint celui de la force motrice, donc. C'est avec cette même grue que l'on procède à la première expérience. On choisit pour l'expérience un cheval très robuste, habitué à tirer les bateaux, qu'on prend soin d'attacher au chableau¹⁰¹ de la grue, assez fin pour éviter qu'il ne soit trop lourd, et de sorte que celui-ci soit horizontal, par le moyen d'une poulie arrêtée à terre et disposée à la hauteur des traits du cheval. On mesure ainsi que ce cheval est capable d'élever 401 livres, "*mais ce fut avec assez de peine*". Les académiciens s'attachent ensuite à déterminer combien d'hommes sont nécessaires pour soulever ces 401 livres. Essayant d'abord avec huit, ils en retirent bientôt un, au motif qu'ainsi, ils avaient "*la mesme peine que le cheval avoit faict*"¹⁰². Cependant "*il y avoit de l'apparence qu'ils n'auroient pas résisté si longtemps dans cette action que le cheval*". Nous trouvons ici la première mesure scientifique du rapport de 7 hommes pour un cheval, ou plus exactement 7 hommes français, souvent repris dans la littérature. En effet, dans d'autres Etats, ce rapport semble changer : ainsi selon Barthez¹⁰³, Jonas Moore déterminera qu'il ne faut que

⁹⁹ Le 21 juin 1667 les mathématiciens de l'Académie tracent sur le terrain nouvellement acheté le méridien et les autres directions nécessaires à l'édification du monument. Le gros œuvre fut terminé en 1672. Cf. WOLF, CHARLES-JOSEPH-ETIENNE, *Histoire de l'observatoire de Paris de sa fondation à 1793*, Paris, Gauthier-Villars, 1902: 1-112 Plus largement : DEBARBAT, SUZANNE, GRILLOT, SOLANGE & LEVY, JACQUES *L'Observatoire de Paris: son histoire (1667-1963)*, 2^e éd., Paris, Observatoire de Paris, 1990

¹⁰⁰ ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences: T.1*, 70

¹⁰¹ Terme habituellement utilisé pour désigner une longue corde qui sert à tirer, à monter, & à descendre les bateaux sur la rivière (D'ALEMBERT, JEAN LE ROND & DIDEROT, DENIS, *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, 1751-1765: III, 2a).

¹⁰² PV ARS: T.3, f°78 r°

¹⁰³ D'ALEMBERT & DIDEROT, *Encyclopédie: VII*, 122b, *Force des animaux*

5 anglais pour équivaloir un cheval. On a argué parfois que les Anglais étaient plus vigoureux que les Français. Mais il est évident, au vu des conditions dans lesquelles a été l'expérience des académiciens, que ce rapport n'a rien d'une vérité statistique : les hommes utilisés, reconnaissent-ils, "*n'étoient pas si forts en leur espèce que le cheval l'étoit à l'égard des autres chevaux dont on se sert ordinairement pour tirer les harnois*".¹⁰⁴ L'honneur national est donc sauf, les Français n'étaient pas plus faibles que les Anglais, ils avaient simplement de plus fiers chevaux, ou plus exactement ils avaient utilisé ce jour là un cheval plus vigoureux. Mais d'autres facteurs sont en cause.

Le premier, c'est que les académiciens mesurent une force ponctuelle, explosive pourrait-on dire, au vu de la valeur du poids soulevé. Ceci est mis en évidence par la comparaison avec les expériences ultérieures sur la force des animaux en situation de travail sur un long temps, comme celle de Sauveur et Sébastien en 1694 (cf. infra).

Le second a trait à ce qu'on ne tienne pas compte de la vitesse des agents dans le calcul de l'effet, ce qui peut créer de notables différences.

Le plus important enfin, tient à ce que l'on compare vraiment. Dans le propos que nous consacrerons à Desaguliers dans le chapitre 3, nous verrons que la différence des rapports nationaux tient surtout à ce que de par et d'autre de la Manche, on ne met pas en rapport les mêmes exercices. Si les Français comparent invariablement la levée de poids par un dispositif où chevaux et hommes tirent horizontalement, il semble que les Anglais préfèrent la comparaison d'exercices différents pour chaque espèce, au motif que le tirage horizontal, idéal pour une utilisation maximale de la force du cheval, ne permet pas l'utilisation de toute la force de l'homme.

Conclusion des académiciens français : chaque homme peut élever 57 livres, auxquelles cependant il faut ajouter la pesanteur du chableau, ainsi que son frottement contre les poulies, qu'ils reconnaissent "considérable".

Mais il faut croire que ces expériences prirent un temps considérable, car rien de plus n'est consigné dans les procès-verbaux de ce jour. Les savants décideront lors de leur séance habituelle du lendemain de se réunir de nouveau le mardi suivant pour continuer ces expériences.

¹⁰⁴ PV ARS: T.3, f°78 r°

1.D.a.iv LA MESURE D'UNE FORCE DE TRAVAIL ?

1.D.a.iv.1 LA MESURE DE CE QUI RELEVAIT DE L'ORDRE DU QUALITATIF

Ces expériences pourraient apparaître bien sommaires à l'esprit chagrin. Pourtant on peut en tirer d'intéressantes caractéristiques.

On est assez loin de Descartes ici, en ce qu'on n'évalue pas exactement la force en fonction de son effet, ou du moins on a conscience d'une différence entre deux. Pour les académiciens il est notable que les 57 livres que les hommes sont capables d'élever grâce à la grue, ne représentent pas la force des hommes. Pour l'atteindre, disent-ils, il faudrait prendre en considération le poids des cordes, et surtout les frottements, considérables : ces 57 livres ne sont donc qu'une mesure de la force *utile* des hommes rendue par la machine. La force de la machine se différencie de la force des animaux. Ce n'est que dans le cadre d'un rapport, de sept hommes pour un cheval, que les effets parasites peuvent s'annuler, considérés comme égaux quel que soit le moyen utilisé pour faire mouvoir la machine.

Si les frottements sont laissés dans l'indécidable de la matérialité, les Académiciens ont cependant parfaitement conscience qu'ils sont un frein au calcul de l'effet, même si celui-ci n'est pas encore calculé comme un travail mécanique. Cela révèle en creux qu'ils font bien la différence entre la machine à l'équilibre, où la puissance (au sens l'époque) est égale au poids à soulever, et la machine en mouvement, dans laquelle le frottement prend naissance. Pour le moment dépendante des procédures statiques, l'attitude des académiciens rend possible une réflexion future sur la machine en mouvement, ainsi que l'idée d'un rendement dont le maximum est atteint par augmentation du rapport enfin calculable sortie/entrée, notamment par atténuation des frottements.¹⁰⁵

L'idée de la mesure des forces mouvantes n'est pas innocente, pure, et détachée de son contexte. La volonté de calculer les forces naturelles n'est pas une vaine curiosité, pour reprendre les termes de Fontenelle : elle sert un but, du moins dans son ambition première. En effet, on peut considérer la mesure des forces mouvantes comme, si ce n'est un sous produit, du moins un corollaire du thème de l'amélioration des machines, que tous les ingénieurs mécaniciens depuis la renaissance tentent de réaliser avec plus ou moins de succès. La

¹⁰⁵ *Amontons, lui, après avoir utilisé un indicateur fiable de l'action des machines, à savoir le travail exécuté, retournera le problème en créant une machine dont le fonctionnement est précisément le frottement de la machine, et en équivalant le frottement, auparavant perte, à toute l'action utile de la machine : une machine entièrement dissipative, entièrement utile. Sorte de résistance passive mécanique. Cf. infra.*

nouveauté ici réside dans le fait de voir ce thème s'investir, pour l'une des premières fois, dans une démarche scientifique de mesure, dans une tentative de caractérisation par le biais d'un indicateur quantifiable, bien qu'insatisfaisant, dont on sait qu'il ne reste pas identique entre l'entrée et la sortie.

Dans les débuts de l'Académie, la mesure des forces mouvantes et l'amélioration des machines marchent de concert. En effet l'Académie est chargée d'évaluer des machines, de les examiner pour en proposer des améliorations, et même de conserver les modèles des machines qu'on lui propose ; dans le même temps, les académiciens cherchent à caractériser les forces mouvantes, caractérisation qui n'est jamais gratuite : les situations prises en compte sont toujours des situations où la machine apparaît, et souvent la machine au travail. La mesure des forces mouvantes doit permettre, à terme, l'amélioration puis l'optimisation des machines elles mêmes. Les deux éléments sont étroitement imbriqués et ne sauraient être opposés, du moins dans les intentions si ce n'est dans les faits.

En outre, la force des chevaux n'est pas sans lien avec l'intérêt dont font preuve les académiciens dans le même temps pour le trainage et le charriage. Roberval, encore, en parlera le lendemain des expériences, ainsi que Buot, puis Huygens et Mariotte la semaine suivante.¹⁰⁶

En s'emparant de ce qui relevait de l'ordre du qualitatif, où les mots de simplification et d'amélioration restaient à la libre interprétation des machinistes et de leurs débats privés, l'Académie, mue par les philosophies mécaniques et empiristes, impose l'empire du chiffre, la transparence des méthodes, et la *preuve* de l'efficacité des procédés artisanaux. L'idée, et la possibilité, de calcul mène directement à l'idée d'optimisation, pour peu que l'on dispose d'un indicateur adéquat. C'est dans cette sphère que commencera à évoluer dorénavant l'histoire des machines.

1.D.a.iv.2 LA NOTION DE PEINE COMME CRITERE DE COMPARAISON

Mais il est un second point qui nous montre l'attention portée par les académiciens aux bêtes, et tout à fait essentiel à notre propos. Lorsqu'il fallut déterminer combien d'hommes étaient nécessaires pour équivaloir à la force d'un cheval, Roberval et ses acolytes ne se fondèrent pas sur le seul fait d'élever les 401 livres, mais de les élever avec la même *peine*. En effet on peut imaginer que 10 hommes ou 6 hommes auraient pu élever cette même charge

¹⁰⁶ Séance du 4 juillet 1668 et du 11 juillet 1668 in PV ARS: T.3, f° 79 r° sq., f°94 r° sq

également, avec plus ou moins de facilité. Comment décider alors d'en choisir 7 ? Pour ce faire, les académiciens ont convenu de se fier à l'apparente difficulté ressentie par les hommes et les animaux au cours de leur tâche, autrement dit, si l'on en croit la signification du mot *peine* à l'époque, au travail en action ou à la fatigue éprouvée sur le moment. Le dictionnaire de Furetière, vingt-cinq ans après, donne pour l'article "peine" :

"PEINE, signifie aussi, Fatigue, travail corporel. On est mauvais menager des biens qui s'acquièrent sans *peine*. On souffre à la guerre bien des *peines* & des fatigues. C'est un homme qui prend grand *peine* d'étudier. S'il attend que je l'aïlle quérir, il payera ma *peine*. Les gens de journée louënt leur *peine*, leur travail. Je n'ai point regret à la *peine* que j'ai prise, ma *peine* a été bien employée. [...]

PEINER. V. n. Les chevaux *peinent* beaucoup à tirer des bateaux en remontant. On *peine* beaucoup en voyageant dans les montagnes & les marescages. On le dit aussi avec le pronom personnel. [...] Cet Ouvrier ne s'epargne point, il se *peine* extremement."¹⁰⁷

Une notion qui ne peut être que très subjective surtout lorsqu'on la compare inter-espèces. L'égalité des forces entre animaux est donc subordonnée en première instance à l'égalité des travaux/fatigues apparents de ces animaux. Il faut noter au passage que cette *peine* ne se confond pas avec une fatigue *sur le long terme*, puisque les académiciens remarquent que, bien que les hommes aient apparemment la même *peine* que les chevaux, il y a lieu de penser qu'ils n'auraient pas tenus l'effort aussi longtemps que ne l'aurait fait le cheval. La *peine* est donc le travail en cours de réalisation, au moment où il se fait, un travail immédiat ou une forme de fatigue immédiate, non cumulative.

De là trois conclusions :

- il existe un *coût* pour la production de la force des animaux, c'est le travail immédiat ou la fatigue immédiate des animaux, ou dit autrement la force mouvante est un produit de leur travail/fatigue.
- La mesure de la force des animaux se ramène à celle d'un invariant : le rapport entre poids total soulevé et travail-fatigue dépensé. Ce qui indique la croyance en une proportionnalité entre travail-fatigue et poids total soulevé. Ce rapport est néanmoins inexprimable sous forme chiffrée, du fait de l'obscurité du concept de *peine*. C'est pourquoi en guise de rapports, les académiciens fixent le paramètre poids, et cherchent à retrouver à partir de là le même travail apparent chez l'homme que celui observé chez le cheval.

¹⁰⁷ FURETIERE, ANTOINE, *Dictionnaire universel, contenant généralement tous les mots françois tant vieux que modernes, et les termes de toutes les sciences et des arts*, 3 vols., La Haye & Rotterdam, A. & R. Leers, 1690

- Trois notions sont manipulées par les académiciens : le travail en train de se faire ou la fatigue immédiate; la force des animaux, exprimable sous la forme d'un poids, somme du poids utile soulevé par la machine et des déperditions diverses; la force de la machine, qui est la charge utile restante durant le mouvement des hommes développée par la machine.

Notons ici cette double caractéristique, d'une correspondance entre le travail-fatigue des hommes et la force dont ils sont capables, d'une part, et l'idée que celui-là est un coût de celle-ci.

Ainsi donc, la force des animaux des académiciens a quelque chose que celle de Descartes manquait. La force est produite par la peine, et semble ainsi se rapprocher de ce que Descartes évitait : une force en production. Cette force est une force utilisée dans le travail, sans être un travail : elle reste à une dimension. Ainsi les académiciens n'excluent pas totalement l'anthropomorphisme: ils tendent plutôt à le faire passer du qualitatif au quantitatif. Cet anthropomorphisme se manifeste d'une part dans le caractère référentiel de la force humaine : l'homme est ici le référent auquel se réduit la force du cheval. Nous verrons par la suite que l'homme restera pour longtemps la référence laborieuse, le plus petit commun dénominateur auquel seront ramenées toutes les autres forces de travail. D'autre part dans le fait que cette force est une image en creux, ou du moins dépendante, de la peine des hommes, jouant ici le rôle d'un facteur limitant.

Cette force là est donc bien une tentative de caractériser la force dont on parle lorsque l'on dit qu'un homme est plus fort qu'un autre. Le mesurable ici n'est pas un refus de penser cet objet problématique qu'est la force, dans sa nature et sa production. Il est un moyen, plutôt que de nier l'anthropomorphisme, de le caractériser et de le quantifier, pour le soustraire au qualitatif et le soumettre à l'empire du calcul.

Si tout cela est insuffisant pour parler d'un concept de travail mécanique, nous voyons cependant ici s'amorcer des démarches et des méthodes que nous retrouvons plus tard. Elles tiennent non seulement au problème de la mesure du résultat de l'activité organique d'une manière qui la rende commensurable à l'effet des activités mécaniques.

Le concept de travail ne tombe pas entièrement formé dès l'origine. Il est d'abord le fruit d'une maturation. En 1668, si l'ambition des mécaniciens de l'académie est bien de réduire le monde à l'observation et à la mesure, ils ne peuvent modestement espérer de ces premières expériences que de donner un ordre de grandeur utile pour le praticien. C'est un premier pas, qui permettra aux machinistes lorsqu'ils auront besoin de substituer une force à

une autre, de savoir à l'avance, de prévoir, combien de chevaux leur seront nécessaires pour faire mouvoir une machine précédemment mue par des hommes ; de même ceci leur permettra (ou plutôt leur permettrait, s'ils étaient capables d'inclure tous les phénomènes de frottements dans leurs calculs) de savoir combien d'hommes ou de chevaux sont nécessaires à faire mouvoir une machine dont ils connaissent la "force", sans parler de substitution. Une aide à la décision, un ordre de grandeur, voilà à quoi peuvent servir ces expériences en premier lieu, même si l'indicateur, ne tenant pas compte de la vitesse des agents et de la distance parcourue, ne dit finalement que peu de choses sur la force en mouvement.¹⁰⁸

1.D.a.v UN HOMME PEUT-IL LEVER PLUS QUE SON POIDS ? OU : LA VITESSE GENERE-T-ELLE DE LA FORCE ?

Le mardi suivant ces premières expériences, le 10 juillet 1668, la Compagnie se rassemble de nouveau à l'Observatoire pour poursuivre ses investigations.¹⁰⁹ Les savants s'adonnent alors à une expérience curieuse puisqu'ils se posent la question de savoir si un homme peut lever plus que son poids. Pour ce faire, ayant disposé une poulie et une corde attachée à un poids de 130 livres, ils demandent à un homme "*assez foible et assez maigre*" de lever ce poids, ce à quoi l'homme échoue. Mais il réussit à le lever d'un pied et demi lorsqu'on lui attacha à la ceinture un poids supplémentaire de 25 livres, et de 8 pieds lorsqu'on ajoute encore 25 livres à ce premier poids. A cet instant, quelques académiciens soulèvent les deux poids de 25 livres, sans avertir l'homme, qui perd alors pied, entraîné par le poids de 130 livres. L'histoire ne dit pas si cette petite farce fut du goût du malheureux.

Au-delà de l'anecdote, cette expérience semble symptomatique de certaines idées sur la force. Il peut en effet sembler très curieux que des savants de l'acabit de Roberval, Huygens, Picard, Buot, Mariotte, pour n'en citer que quelques uns, choisis parmi l'élite scientifique française voire européenne, connaissant à fond la statique, aient pu douter qu'un homme pût lever plus que son poids par le moyen d'une poulie simple. Il ne semble pas qu'ils aient simplement voulu vérifier un fait dont tout le monde s'accordait l'évidence : s'ils l'ont

¹⁰⁸ *Que Roberval soit à l'origine de ces recherches sur la force des hommes, des chevaux et des bœufs (qui ne seront malheureusement jamais étudiés) est-il un hasard ? On sait en effet qu'il vient d'une famille relativement modeste, sans être pauvre, issue de la paysannerie. Auger conclut que ses parents étaient de simples cultivateurs : AUGER, LEON, Un savant méconnu: Gilles Personne de Roberval (1602-1675), Paris, Blanchard, 1962: 7, cité par STURDY, DAVID J., Science and social Status. The members of the académie des sciences, 1666-1750, Woodridge, The Boydell Press, 1995: 101. Plus largement, on connaît l'intérêt de Roberval pour toutes les questions techniques.*

¹⁰⁹ PV ARS: T.3, f° 92 r° sq.

fait, c'est probablement parce que certains devaient douter de la chose. Il faut oublier ce que nous autres savons de la force, et tenter autant que faire se peut de se replacer dans le contexte de cette expérience. On parle ici non pas d'une force en général mais de la force mouvante de l'homme, de sa capacité à mouvoir les machines par exemple, fussent-elles simples. En ce sens, le mot de force recouvre partiellement l'idée d'une puissance organique de l'homme, de sa potentialité d'action : il y siège une intensité, bien moins visible dans les poids morts. Cette intensité, finalement, n'est autre chose que la vie elle-même. Et l'on sait à quel point la notion de vie, et celle de mouvement, sont liées, même encore aujourd'hui. Que l'on songe ainsi à la dénomination de force vive et de force morte utilisée par Leibniz, ou à la même époque, d'argent mort et d'argent en vie par Boisguilbert pour différencier la monnaie thésaurisée, ne produisant rien, et la monnaie en circulation dans le pays, produisant la richesse artificielle. Dans cette pensée, on peut imaginer que l'action de l'homme vivant puisse surpasser la passivité des poids morts.

Il semble se rejouer ici une ambiguïté que Descartes a pu avoir lorsqu'il évoquait qu'il faut toujours un peu plus de force pour mouvoir un poids qu'il n'en faut pour le soutenir,¹¹⁰ dans le sens qu'ici quelques-uns des académiciens semblent penser que la force d'un homme qui se meut excèdera en *degrés* la simple force d'un homme qui soutient un poids. Ce qui revient à dire que l'on peut réduire l'action d'un homme animé d'une vitesse, ou l'action de ses muscles, à la dimension d'un poids. Et que la vitesse confère un excédent de force à un mobile.

Il y a donc ici une vraie difficulté à penser la force en mouvement et sa spécificité. Elle ne tient pas seulement à son origine organique, particulier au cas présent. On la retrouve dans toutes les recherches contemporaines de l'Académie sur les forces mouvantes. Ce qui est en cause, c'est la notion d'une force en mouvement, une force mouvante. Et la question que les Académiciens semblent poser dans cette recherche, et dans toutes celles que nous allons relater dans la suite, revient à cela : une force *mouvante* est elle appréhendable par la statique ? Dans le cas des animaux, les Académiciens semblent ainsi répondre par l'affirmative : le mouvement n'ajoute rien à la force, et l'on peut continuer à raisonner sous les auspices de la balance et du levier.

¹¹⁰ Nous avons vu précédemment que Descartes n'était pas clair lorsqu'il évoquait sa force à deux dimensions, donnant parfois l'impression qu'il concevait la différence entre la force à une dimension et celle à deux dimensions comme une différence de degré, et non de dimensions.

Les Académiciens, dans ces travaux, sont en quête d'un cadre unificateur qui puisse leur permettre d'appréhender toutes les forces, organiques ou non, de tout reconstruire sous le schème de la force pondérale. Les spécificités du mouvement sont alors réduites à l'interprétation statique en termes pondéraux. Les choses ne seront pas toujours aussi aisées que dans le cas des forces générées par des organismes. Ainsi le mouvement de l'eau semble générer une force. Il suffit alors de voir avec quel empressement les savants tentent de réduire ce poids mouvant à un poids statique : concernant la force d'un jet tombant d'un vase, Huygens utilise une balance et mesure (erronément) que le poids qu'elle peut soutenir est précisément égal au poids de la colonne d'eau mouvante. Quand il n'est pas possible de confondre poids mouvant et poids statique, comme dans le cas problématique de la percussion, on tache tout de même d'utiliser des procédures statiques, et de résumer la force à une expression pondérale.

La prégnance du paradigme statique, associé à une difficulté réelle de penser le mouvement dans la force, et l'absence d'un concept clair de travail comme résultat de l'exercice de la force, amène les savants à raisonner de la sorte.

Dans le cadre qui nous occupe, nos savants se prouvent ainsi que la force organique est entièrement appréhendable dans le cadre statique. Le mouvement, quand il sera considéré dans ce cadre, pourra ainsi être détaché du paramètre pondéral.

Les membres de la compagnie s'attellent ensuite, conformément à leur programme, à expérimenter la force de l'homme quand il pousse et quand il tire. Aucun détail n'est donné, et Galloys, laconique, se contente de relater le résultat : la force est égale. La Hire, à la fin du siècle, et d'autres, auront l'occasion de revenir sur cette question.

La séance se termine alors par la comparaison d'un homme assis tirant, les bras en direction du sol, et de ce même homme debout, toujours les bras en même direction : l'homme a plus de force dans cette seconde position, car, avance Galloys, en plus des muscles des reins et des bras, ceux des jarrets agissent aussi.

Le programme de recherche initial n'est donc pas complètement rempli. A vrai dire il ne l'est qu'à moitié. Les académiciens n'ont en effet pas pu juger de la proportion de la force d'un cheval à celle d'un bœuf, n'ayant pas pu se procurer des bœufs à temps, ni de savoir quelle est la force d'un homme tirant en ayant un de ses pieds surélevé, ni enfin du temps pendant lequel un homme peut lever un poids "proportionné à ses forces". Quant à la force d'un homme qui tire assis et debout, si les savants nous donnent une relation d'ordre, ils

omettent de nous faire part de l'évaluation chiffrée. Qu'ont fait exactement les académiciens de ces expériences ? Comment les ont-ils utilisées pour leurs propres recherches ? Ont-elles amenées de nouvelles idées ? Il est difficile de répondre précisément, vu les lacunes de la documentation disponible. Néanmoins, les préoccupations à l'œuvre dans ces expériences désormais chiffrées se perpétueront tout au long des 17^e et 18^e s., nous aurons l'occasion de le montrer dans la suite. Leur mérite principal semble être l'ouverture d'un programme de recherche doublé de la mise en avant d'un état d'esprit, celui du calcul et de la rationalisation, mais doublé d'une difficulté pour l'apparition du travail : la difficulté à appréhender la spécificité des forces en mouvement. Nous verrons comment Amontons et Parent donnent des versions de la force-pour-mouvoir intrinsèquement liées à une rupture du cadre statique.

1.D.b. LA FORCE DE PERCUSSION

Comment s'exprime encore l'intérêt pour le travail des hommes et des machines à l'Académie à cette époque dans les expériences sur la force ?

Revenons à la séance du 27 juin 1668. Frénicle, immédiatement après que Roberval eut énoncé la partie du programme de recherche concernant la force des hommes et des chevaux, expose le programme qu'il souhaite réaliser sur la force de percussion. Nous allons le voir, il ne s'agit nullement, encore une fois, d'une pure spéculation. La finalité pratique est d'emblée énoncée comme le but du programme. Nous nous contenterons ici d'en faire quelques commentaires.

Rappelons-le, Frénicle envisage au moyen d'une machine adéquate composée principalement d'un pieu,

- mesurer la force d'un homme frappant ce pieu au moyen d'un maillet, par l'enfoncement auquel ce pieu sera sujet,
- puis chercher de quelle hauteur le maillet doit tomber sur le pieu pour provoquer un enfoncement égal.
- chercher quelle doit être la "pesanteur" d'un maillet provoquant ce même enfoncement, s'il est lâché de la hauteur à laquelle l'ouvrier élève son maillet.
- comparer ces forces avec "celle du poids qui feroit le mesme effet en mesme temps", si ce poids était posé sur le pieu sans vitesse.

Mais Duhamel, qui relate ces faits, voit immédiatement la difficulté de cette dernière expérience : le poids agit continuellement, alors que le coup, lui, est bref. Nous ne développerons pas ici dans un débat sur la force de percussion et les recherches menées sur elle par et depuis

Galilée et Descartes. Nous renvoyons le lecteur intéressé par ces aspects à Gianfranco Mormino¹¹¹ et Serge Moscovici¹¹².

Ce qui est visible dans ces propositions d'expériences, c'est la référence à une machine en action, une machine pratique, puisque ce n'est autre qu'une machine à enfoncer des pieux. On pense naturellement au mouton, appelé aussi sonnette, servant à la pose des pilotis ou au battage de tout pieux de bois, habituellement animé par les hommes ou les chevaux. L'enjeu technique est palpable et c'est ici autour de celui-ci que tourne cette force de percussion.

Par ailleurs, il s'agit par ces expériences de rendre commensurables :

- la force de l'homme
- la force acquise par un objet en tombant
- la force que le poids exerce "au repos",

et ce en observant l'effet produit sur le corps percuté. On voit à quel point ces notions d'actions, de force vive et de force morte (qu'on nous pardonne ces anachronismes) sont ici imbriquées. La force est ici multiforme, engluée dans les balbutiements conceptuels d'une science en construction qui espère encore pouvoir réduire toute action à celle d'un poids statique.

Mais l'important ici n'est pas tant l'impossibilité d'une commensurabilité entre la force de percussion et le poids, déjà exprimée par Galilée dans un texte publié des années plus tard, que l'idée d'une commensurabilité entre la force de percussion de l'homme et celle advenant par des moutons de différentes masses à différentes hauteurs. Derrière, c'est encore une fois la substitution qui s'exprime. De telles expériences permettraient de caractériser une sonnette en fonction du nombre d'hommes qu'elle est susceptible de remplacer. De la sorte, elles permettraient une mesure de la force de la machine par un référent humain, et peut servir de base à un calcul économique. Mais la sonnette étant actionnée par des hommes ou des chevaux, ces expériences seraient surtout utiles pour connaître par avance, en se référant aux expériences précédentes sur la force des hommes et des chevaux, combien d'hommes ou toute autre force animée qu'on voudra seraient nécessaires pour l'actionner. Préviation et substitution.

¹¹¹ MORMINO, GIANFRANCO, "La force de percussion chez Galilée et Descartes", *XVIIe siècle*, 2009/1, n° 242, 2009, pp 45-57

¹¹² MOSCOVICI, SERGE, "Remarques sur le dialogue de Galilée De la force de la percussion", *Revue d'Histoire des Sciences*, XVI, 1963, pp 97-137

Examinons maintenant ce qu'il en est de la force de l'air et de l'eau.

1.D.c. LA MESURE DE LA FORCE DE L'EAU

Un peu moins d'un an plus tard, plusieurs séances vont être consacrées à la mesure de la force mouvante de l'eau par Huygens¹¹³ (3 avril et 8 mai 1669¹¹⁴), tandis que dans le même temps Mariotte entame la lecture de 29 propositions sur la force des fluides en général, formant une ébauche de traité¹¹⁵. On retrouvera ici certaines analyses déjà faites par exemple par Michel Blay¹¹⁶ et Julian Calero¹¹⁷ sur la constitution de la science du mouvement des eaux, à la nuance près que nous n'avons pas l'ambition ici de traiter directement de ce dernier sujet. Nous ne faisons qu'apporter un éclairage complémentaire dans la problématique spécifique que nous nous sommes définie.

Pourquoi vouloir mesurer la force de l'eau, puis la force de l'air¹¹⁸ ? La raison n'est pas seulement une volonté de connaissance pour la connaissance. Elle est liée à des aspects pragmatiques de calcul des machines, qu'on a trop souvent ignorés, considérés n'être que de pure intention ou invoqués dans le seul but de plaire au pouvoir. Mais nous allons voir que les aspects pragmatiques sont présents au même titre que les aspects théoriques, non seulement dans le discours mais également dans la structure même des expériences menées.

¹¹³ Sur Huygens et ses divers travaux, cf le numéro spécial : "Expérience et raison", la science chez Huygens (1629-1695)", *Revue d'histoire des sciences*, 56, n° 1, 2003, pp 5-190 On y trouve une bibliographie huguenienne très complète par Gianfranco Mormino et Fabien Chareix (p. 153-190). Voir aussi la récente publication de la thèse de Fabien Chareix : CHAREIX, FABIEN, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, Paris, J. Vrin, 2006 Cf. aussi VILAIN, CHRISTIANE, *La mécanique de Christian Huygens. La relativité du mouvement au XVIIe siècle*, Paris, A. Blanchard, 1996 Et BLAY, MICHEL, *Les raisons de l'infini: du monde clos à l'univers mathématique*, Paris, Gallimard, 1993: 27-56 Un peu plus ancien : TATON, R. (éd.), *Huygens et la France*, Paris, J. Vrin, 1982 Concernant les sources primaires, se référer à HUYGENS, CHRISTIAAN, KONINKLIJKE HOLLANDSCHE MAATSCHAPPIJ DER WETENSCHAPPEN (éd.), *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, 22 vols., La Haye, M. Nijhoff, 1888-1950 Le tome 22 recèle une liste détaillée de ses publications.

¹¹⁴ PV ARS: T.6 (1669- Registre de physique), f° 1 r°-17 v°, 55 r°- 57 v° Rappelons de nouveau que ce tome été anciennement appelé T5 (1669- Registre de physique).

¹¹⁵ Ibid.: T.6 (1669- Registre de physique), f° 71 r° sq.

¹¹⁶ Une description des travaux de l'Académie concernant les fluides en mouvement dans les années 1668-69 a été réalisée par Michel Blay in BLAY, MICHEL, "Recherches sur les forces exercées par les fluides en mouvement à l'académie royale des sciences: 1668-1669", *Mariotte, savant et philosophe (1984) : analyse d'une renommée*, Paris, J. Vrin, 1986, 92-123 Nous en reprenons ici quelques grandes lignes. Sur les jets et la force des jets, on peut également consulter de cet auteur : BLAY, MICHEL, *La science du mouvement des eaux de Torricelli à Lagrange*, Paris, Belin, 2007: 49-74

¹¹⁷ On peut trouver une description sommaire des expériences de Huygens in CALERO, *The genesis of fluid mechanics, 1640-1780*: 57-63

¹¹⁸ Cf. *pagraphe suivant sur la force de l'air*.

Le discours d'abord, c'est celui que tient Huygens le 24 juillet 1669 dans une séance où l'on traite "*de l'utilité qu'on peut tirer de la connoissance de la force mouvante de l'eau et de l'air*"¹¹⁹. Huygens y donne une réponse simple : cette connoissance est utile "*dans la construction de toutes sortes de moulins à eau et à vent*"¹²⁰. Il ne s'agit pas d'une phrase évasive : tout le mémoire qu'il présente ce jour-là à l'Académie est consacré au calcul des moulins à eau et à vent, sur la base des résultats des expériences des semaines précédentes traitant de ces forces mouvantes. Huygens précise ses intentions :

Car dans les [moulins à eau], la quantité et la vitesse de l'eau dont on peut disposer estant données, qui se mesurent assez facilement, l'on pourra sçavoir par avance a quelle force de chevaux, ou hommes celle du moulin sera égale, et pour des moulins à vent, l'on pourra calculer qu'elle doit estre la grandeur des aisles afin afin¹²¹ que leur effect egale de mesme une force déterminée. Pour le fondement de ce calcul, il fault sçavoir comme il s'ensuit des experiences precedentes que l'eau allant avec la vitesse d'un pied en une seconde, contre un plan quarré d'un pied, fera impression de 44 ½ onces, ce qui est calcule sur l'experience susdite de l'escoulement du cylindre de 35 pouces de hauteur. [...] Les impressions sont comme les quarrés des vitesses.¹²²

La motivation énoncée tient donc à la possibilité de substitution des forces mouvantes entre elles. Le fait n'est pas anecdotique. La substitution est l'élément nodal de la démarche des Académiciens, en ce qu'elle rassemble en une même problématique différents aspects.

D'une part, elle concentre en une même idée toutes les forces mouvantes, eau, air, chevaux, bœufs, hommes, en déclarant leur universelle compatibilité, mieux, leur équivalence. Toutes peuvent s'énoncer en termes mécaniques. Toutes sont mesurables. Dès lors toutes interchangeables. La nouveauté ne réside pas tant dans la possibilité de les interchanger que dans la possibilité de les mesurer et donc de prévoir le résultat de leur interchangeabilité.

En ce sens, et c'est le second point, la substitution permet donc de penser l'aspect pragmatique, une problématique d'ingénieurs ayant besoin de savoir pratiquement les substitutions possibles suivant les ressources dont ils disposent. Une problématique de ce qu'on appellera plus tard les sources d'énergie. Si je ne dispose pas de vent, combien de chevaux me seront-ils nécessaires pour équivaloir la force de celui-ci, et avoir le même effet ? Intimement, cela ouvre également la voie à la possibilité du calcul économique des forces de production : connaissant les équivalences entre différentes forces mouvantes, quel sera le coût de celle que j'utilise, et sera-t-elle la plus économique pour l'effet escompté ? Nous disons que les académiciens ouvrent la voie de ce calcul économique, mais ils ne la parcourent pas,

¹¹⁹ *PV ARS: T.6 (1669- Registre de physique), f° 121 r°*

¹²⁰ *Ibid.*

¹²¹ *Mot répété*

¹²² *PV ARS: T.6 (1669- Registre de physique), f° 121 r°, 121 v*

ils ne peuvent pas la parcourir réellement, du fait même de la définition de la force mouvante: les académiciens en sont toujours à la force unidimensionnelle. Ils savent désormais, ou croient savoir, ce que telle ou telle force mouvante peut soutenir. C'est sur la force-pour-soutenir que raisonnent également les mécaniciens pragmatiques de leur temps. Ainsi calculer la force d'un moulin consistait à déterminer par l'expérience quel poids la force du courant appliquée aux pales pouvait soutenir. Cette définition ne prend qu'insuffisamment en compte les aspects de fatigue, et ne peut être réduite à un travail, qui implique la conceptualisation d'une force qui se meut : concrètement il existe une différence entre le poids qu'un homme va pouvoir soutenir statiquement, et le poids qu'il va devoir élever continuellement dans une journée de travail. Il existe également une différence entre le poids qu'un moulin statique peut soutenir, et celui qu'il peut élever, du fait que la pale en mouvement fuit le fluide, ce dernier faisant alors une impression moins forte. De même pour les moulins à vent.

Enfin, mais c'est là plus évident, la substitution a besoin de la connaissance précise de chacune des forces pour effectuer un calcul efficient et nécessite donc des recherches théoriques sur chacune d'entre elles.

C'est de cette idée que les impressions sont toutes équivalentes et de l'ambition de les réduire toutes les unes aux autres, et finalement au poids, qui permettra ensuite l'évolution vers une conceptualisation des forces mouvantes comme exerçant non plus seulement une force mais un travail. Voie qui amènera Fontenelle à dire que le feu lui-même, tout comme le vent, tout comme l'eau, travaillent, qui amènera Amontons à créer son moulin à feu, qui amènera Parent à ébaucher une technologie des moulins à eau.

Pour ce qui concerne le déroulement des expériences et les calculs développés, nous reportons le lecteur intéressé à l'analyse de l'Annexe 01. Nous nous contentons ici de relever les points essentiels.

Huygens s'adonne à trois types d'expériences, qu'il pense dans un seul mouvement.

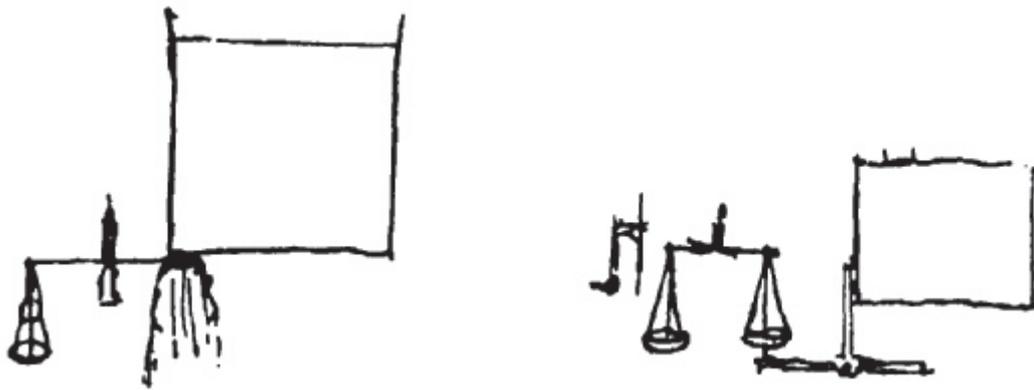


Figure 4 : Dessin des deux expériences sur la force mouvante des eaux présentées par Huygens le 3 avril 1669, figurant dans un manuscrit daté du 13 février 1669: Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.120

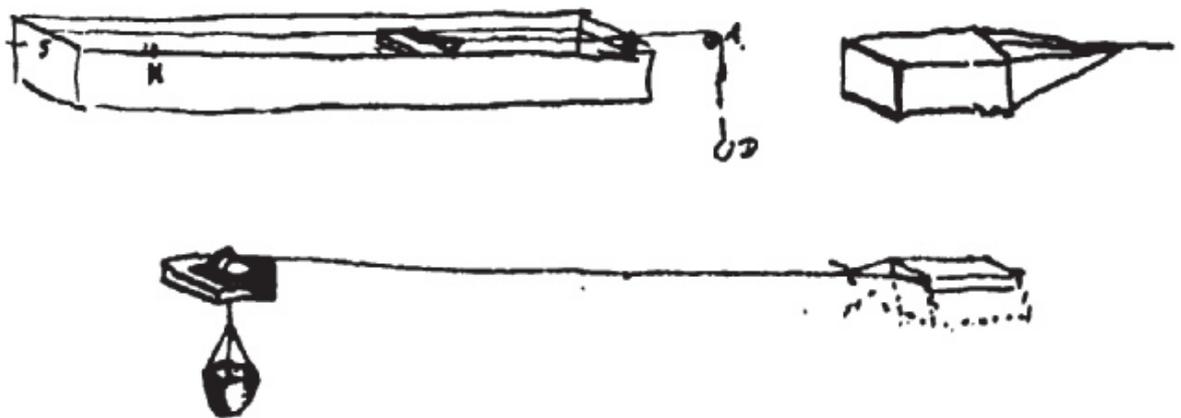


Figure 5 : Dessin des secondes expériences sur la force mouvante des eaux présentées par Huygens le 3 avril 1669, figurant dans un manuscrit daté du 13 février 1669: Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.122

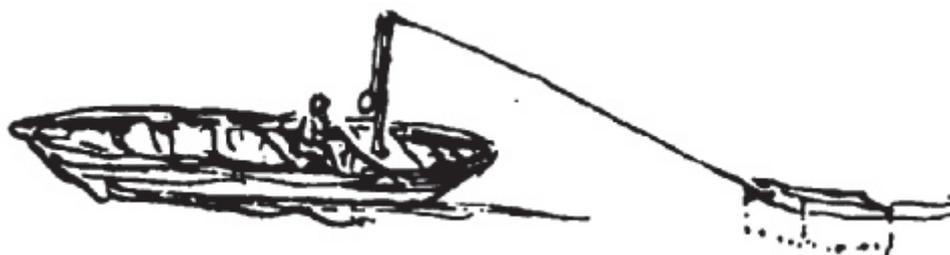


Figure 6 : Dessin de la troisième expérience sur la force mouvante des eaux présentées faites à l'Académie Royale le 24 avril 1669 - Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.126

La première expérience consiste à mesurer la force d'un jet d'eau tombant d'un vase dans lequel on a percé un trou. La seconde veut mesurer la résistance de l'eau sur un parallélépipède mu par un poids dans un petit canal. La troisième est une expérience en conditions réelles sur la Seine grâce à un dispositif inventé par Couplet et disposé sur un bateau immobile, pour mesurer la force de l'eau de la rivière sur un parallélépipède de bois de chêne. Dans les deux premiers cas, Huygens met en évidence la dépendance entre cette force et le carré de la vitesse de l'eau. Mais, ne considérant pas la veine contractée du jet, et n'ayant pas conscience des frottements de l'eau, il croit que le poids soutenu par le jet est égal au poids de la colonne d'eau situé depuis le point d'impact jusqu'en haut du vase. Une erreur qui n'a guère d'influence sur les résultats puisqu'il utilise des rapports. Mais ceci à confondre poids statique et poids en mouvement, une confusion d'autant plus facile vu la prégnance du paradigme statique dominant. Ceci illustre l'obstacle de la statique dont nous parlions plus haut.

Au delà de ça, il faut remarquer un point important. Ces expériences ne sont pas une simple spéculation. Le compte rendu des séances exprime clairement les buts, utilitaires. Ainsi il est dit au sujet de la première expérience que ceci permettra de connaître "*la force ou l'impression de l'eau [...] contre quelque surface donnée, par exemple contre les aisles d'un moulin*".¹²³ Pareillement, il faut noter l'insistance des Académiciens à faire une expérience (la troisième) en conditions réelles, et leur déception à voir l'expérience ne pas être concluante quant à la dépendance en v^2 . La rivière, en effet, n'est pas un fluide idéal, stable, et dont la vitesse est constante en tout point.

Les situations réelles expérimentées par nos académiciens résistent aux descriptions simples. Pourtant, c'est bien au final une description de la complexité qu'ils veulent former. Leur frustration s'explique en ce que leur ambition n'est pas d'être des scientifiques de cabinet spéculant stérilement sur une réalité de laboratoire. C'est la réalité dans ce qu'elle a de pratique, de complexe, de complète, qu'il ambitionne d'arraisonner à l'entendement humain.

S'il ne s'agissait que de parvenir à des lois abstraites, il n'y aurait pas lieu d'aller ainsi naviguer sur la Seine. La motivation d'une telle expérimentation est claire : ce qui est visé, c'est la résistance des carènes des vaisseaux, nécessaire au calcul du remorquage des vaisseaux dans les rivières, qui sera l'un des principaux enjeux technologiques présent à l'Académie des Sciences jusqu'à la fin du 18^e siècle. Les précédentes expériences, pour

¹²³ *Ibid.*: T.6 (1669- Registre de physique), f° 3 r°

nécessaires qu'elles soient, ne sont dans cette optique que des préliminaires à l'ambition ainsi affichée : trouver et maîtriser les lois naturelles régissant le comportement des objets techniques. Décrire et prévoir leur comportement, en prenant en compte le fouillis de perturbations qu'offrent les situations réelles.

1.D.d. PROBLEMATIQUE DE SUBSTITUTION ET REFERENCE ANTHROPOMORPHIQUE

Nous ne nous attardons pas ici sur la mesure de la force mouvante de l'air, et reportons à l'annexe 02 le lecteur intéressé par les méthodes employées et les résultats trouvés par les Académiciens. Ce qu'il nous semble important de souligner sont tous les liens qu'entretiennent entre eux l'eau et l'air, pensés comme deux fluides. Clairement pour les Académiciens, la différence entre les deux éléments est plus une question de degré que de nature. Ainsi Huygens est naturellement porté à comparer les forces d'impression de l'eau et de l'air.

Ici la problématique de substitution de force mouvante dans les machines joue à plein, mais elle est grandement facilitée par la conscience aiguë qu'ont les scientifiques d'une convergence entre l'eau et l'air dont le terme final est la construction d'un concept de fluide¹²⁴ dépassant l'opposition aristotélicienne entre éléments. On voit ici le rôle joué par la substitution dans cette conceptualisation. C'est au travers de l'effet de la force mouvante de l'eau et de l'air et de leur interchangeabilité, effet conçu comme le poids capable d'être soutenu et dont la dépendance s'exprime en v^2 dans les deux cas, que les deux éléments viennent à s'unifier ici.

¹²⁴ On peut noter les remarques de Mariotte : "L'air & la flame dont des corps fluides ; l'eau, l'huile, le mercure, & les autres liqueurs, sont des corps fluides & liquides ; tout liquide est fluide, mais tout fluide n'est pas liquide. J'appelle liquide, ce qui estant en suffisante quantité coule & s'étend au dessous de l'air, jusques à ce que sa surface superieure se soit mise de niveau : & parce que l'air & la flame n'ont pas cette propriété, je ne les appelle pas liquides, mais seulement fluides. La dureté & fermeté est opposée à la fluidité ; ce qui est dur & ferme comme le fer & les pierres, se laisse traverser difficilement par les autres corps ; & quand il a esté traversé, ses parties séparées ne se rejoignent point : les corps fluides au contraire se laissent traversés aisément, mais ils réunissent aussi-tost leurs parties séparées, & c'est en quoy consiste la fluidité. Par cette raison le sable tres-menu peut estre appelé fluide, mais non liquide, parce qu'il ne coule pas sur un plan peu incliné, & que quand on en emplit un vaisseau, les parties superieures ne se mettent pas de niveau d'elles-mêmes.

L'eau est encore appelée humide par quelques Philosophes, mais c'est proprement ce qui est mouillée d'eau qu'on doit appeller humide, & en ce sens l'air est humide quand il est beaucoup rempli de vapeur aqueuses. La secheresse est opposée à l'humidité ; & un linge qu'on appelle humide lors qu'il est mouillé, est appelé sec, quand l'eau dont il estoit mouillé est évaporée." In MARIOTTE, EDME, DE LA HIRE, P. (éd.), *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, Paris, Estienne Michallet, 1686: 1-2 Sur le concept de fluide chez Newton, voir CALERO, *The genesis of fluid mechanics, 1640-1780*: 76 sq.

La nature commune de l'eau et de l'air facilite ainsi l'idée d'une substitution d'une force par une autre dans une machine, et donc son calcul. Elle s'inscrit par ailleurs dans le projet mécanique de l'époque, et dont l'ambition est d'unifier la description de la matière sous le schème purement mécanique.

Pourquoi pense-t-on la force mouvante sous le visage d'un poids pouvant être soutenu ? La réponse nous semble être celle-ci : ce que les académiciens font au moyen de toutes ces expériences finalement, ça n'est qu'imaginer comment l'air ou l'eau pourrait remplacer les hommes, et comment réduire l'action de l'air et de l'eau à celle des hommes en situation de travail, quand ils soutiennent des poids ou les élèvent à faible vitesse (puisque la statique conçoit le mouvement des poids soulevés comme une succession d'équilibre). La force mouvante, bien que mouvante, est réduite à la force pour soutenir, liée aux procédures statiques.

Mariotte se montre explicite dès les premières lignes de sa lecture à l'assemblée de *son Traité de la force mouvante de l'eau et de l'air* le 29 mai 1669 (71 r°) :

La force de l'eau pour faire tourner des roües, eslever des poids et faire plusieurs autres effects considerables depend ou de sa pesanteur ou de son choq ou des deux ensemble, et celle de l'air, de son choq, ou de sa vertu elastique [...]

Il s'agit donc bien de la "force pour faire tourner", agir certains dispositifs, une force pensée dans une finalité, une force de travail en somme. Evidemment, on ne peut réduire la science de l'époque au produit secondaire de problématiques pratiques, mais il faut remarquer que les aspects pratiques ne sont ni anecdotiques ni de simples applications d'une théorie déjà constitués. Comme l'exprime Michel Blay,

[...] l'étude des forces exercées par les fluides en mouvement peut constituer un domaine privilégié car il pourrait à la fois conduire à un approfondissement des travaux antérieurs (en particulier ceux portant sur la loi de Torricelli), et déboucher sur des résultats d'un intérêt pratique certain.¹²⁵

Nous ajoutons qu'en ce qui concerne le travail mécanique, les aspects pratiques et les problématiques associées participèrent de la définition du concept, et de ses antécédents, avec lequel on les analysa. En effet, en ce qui concerne notre sujet, "aspect pratique" ne signifie pas toujours, ni nécessairement, que les scientifiques aient voulu *résoudre* des problèmes pratiques. Cela signifie plus largement que leurs conceptions ont été influencées en partie par des aspects pratiques. Concrètement, ici, les forces mouvantes de l'eau et de l'air, quand on les pense dans leur finalité, se trouvent incluses dans un jeu de comparaison avec celle des

¹²⁵ BLAY, *La science du mouvement des eaux*: 50

hommes et des animaux, et sa définition est rendue valide par la possibilité d'une substitution avec ceux-ci. S'il n'est pas clair que cet aspect joue un rôle essentiel dans la conceptualisation de la force, il est beaucoup plus patent dans le concept de travail mécanique.

On remarque également l'importance de la notion de poids en équilibre qui prévaut à la mesure et à la définition de ce que peut être la force mouvante des éléments. Le processus de mesure de la force de l'eau, notamment dans la première expérience, et celle de la force de l'air, ne sont rien d'autre que des balances. Le processus de mesure ne dit rien sur une quelconque nature intrinsèque de la "force" des éléments : il ne fait que mettre au jour la conceptualisation que les acteurs ont de cette "force". En l'occurrence pour eux, toute force mouvante peut, et même doit, se comprendre par réduction à une force pondérale, le poids, une force morte en somme, pour anticiper Leibniz. On reste mal à l'aise avec cette mise en équivalence autour d'un dispositif d'équilibre, d'une force dynamique d'une part, et d'un poids mort de l'autre.

C'est le poids soutenu qui va devenir la définition de la force mouvante dont la dépendance est en v^2 . Ce résultat est orienté par l'utilisation que l'on souhaite en faire. Tout comme la définition de la force de l'eau, mesurée en situation réelle dans la Seine, semblait motivée par la volonté de guider la construction de machines à remonter les bateaux et de calculer la substitution par les hommes ou les chevaux, cette mesure particulière de la force mouvante de l'air par un poids soutenu, cette mise en correspondance d'un air impétueux et d'un poids mort, va être dirigé dans le sens du calcul de l'objet technique qui utilise lui-même la force du vent : le moulin à vent.

Dans le grand projet mécanique qui triomphe à la fin du 17^e siècle, la distinction antique entre science théorique et technique disparaît : connaître, ce n'est plus la réminiscence de vérités éternelles : *connaître, c'est fabriquer*.

Dans la séance du 24 juillet 1669 (121 r^o), Huygens énonce l'utilité qu'il y a à connaître les forces mouvantes de l'eau et de l'air. Le calcul de substitution vient en tête¹²⁶. En effet, grâce aux résultats précédents,

"[dans les moulins à eau] la quantité et la vitesse de l'eau dont on peut disposer étant données [...] on pourra sçavoir par avance a quelle force de chevaux, ou hommes celle du moulin sera égale, et pour des moulins a vent, l'on pour calculer quelle doit estre la grandeur des aisles afin afin que leur effect egale de mesme une force déterminée." (71 r^o, 71 v^o).

¹²⁶ Huygens énonce par la suite d'autres utilités : la possibilité de créer un anémomètre, en considérant le poids qu'un morceau de carton relié à un levier coudé peut soutenir ; la connaissance de la vitesse limite d'un objet tombant en chute libre, à partir du calcul de la résistance de l'air (principe du parachute) ; la mesure de la profondeur de la mer...

Huygens rappelle les résultats de la force de l'eau :

- l'eau allant à la vitesse d'un pied par seconde contre un plan de un pied carré fera impression de 44 ½ onces
- les impressions sont proportionnelles au carré des vitesses. Si bien que si la vitesse était de dix pieds par seconde, l'impression sera de 4450 onces

Pour l'air :

- un vent de vitesse 10 pieds par seconde contre une surface plane de un pied carré fera impression de 9 onces environ
- les impressions sont également proportionnelles au carré des vitesses.

Supposant un moulin dont les quatre ailes aient chacune 32 pieds de long et 8 de large, soit 256 pieds carrés pour chaque aile, frappé d'un vent de 20 pieds par seconde, l'impression du vent sur chaque pied carré de surface sera de 36 onces environ, si l'aile était directement opposée. Soit une impression totale de 9216 onces soit 576 livres. Néanmoins les ailes sont obliques pour permettre la rotation, et de ce fait l'impression, si l'angle avec la direction du vent est de 45°, doit être réduite dans le rapport du sinus de cet angle. Elle sera alors égale à 411 ½ livres. Il suffit alors de multiplier par 4, et de considérer que l'effort se produit au centre de chaque aile. Les quatre ailes sont alors sous l'effort d'un levier de 16 pieds chargés de 1646 livres "laquelle force se peut ensuite comparer a celle des chevaux tirant [...] ou à telle autre force mouvante connuë que l'on voudra." 122 v°- 123 r°).

On voit qu'il ne s'agit que d'un calcul de principe, une ébauche en somme, mais ô combien décevante. Huygens ne prend pas en considération la projection nécessaire de l'impression du vent dans le sens de la direction, ni la réduction de la largeur de l'aile exposée au vent consécutive à son obliquité.

Par ailleurs, la problématique observée ici, ce calcul de substitution, n'est pas orienté dans le sens d'une amélioration des machines. Il se propose pour une machine donnée, à partir de la connaissance de l'impression faite sur ses ailes, de calculer combien d'eau, combien de chevaux, combien d'hommes seraient nécessaires pour avoir la même impression. Ainsi, il ne s'interroge pas sur le meilleur angle à donner aux ailes, par exemple. L'intérêt, ici, ou l'ambition, est de permettre la prévision, par la connaissance des termes de la substitution.

Si ce calcul de principe est décevant, il n'en reste pas moins l'affirmation de la possibilité du calcul des machines, que d'autres après lui réaliseront. Un calcul exact demande un examen en profondeur du mode de fonctionnement des moulins. Calcul bien plus

complexe qu'il n'y paraît de prime abord, et plus complexe que Huygens ne semble l'imaginer. Nous y reviendrons dans la suite.

On mesure le caractère extrêmement ambitieux de ce programme de recherche sur les forces mouvantes. Apparu dès les débuts de l'Académie, il fera sentir pour longtemps son influence. S'intéressant à la fois aux actions de l'homme et des bêtes en situation de travail, aux impressions des fluides, et à la force de percussion, il est sans cesse parcouru par une problématique de substitution et référée aux machines en action. Si ceci ne suffit pas à le définir entièrement, il annonce cependant la première recherche d'envergure de caractérisation du travail et de ce fait, de la production, ouvrant la voie à une rationalisation des machines. L'idée d'une articulation entre science rationnelle et science pratique est déjà là. Il s'agit de sortir les machines et l'action des hommes de l'incertitude et de la tradition pour les placer sous les lumières de la science permettant de donner les éléments décisifs d'un choix rationnel. Le critère suivant lequel ce choix doit être fait n'est pour l'heure pas le travail au sens où nous l'entendons aujourd'hui, mais la mesure de la force mouvante réduite *in fine* à une force pondérale.

Voyons à présent comment la problématique de la substitution et la nécessité d'une mesure de l'activité des forces productives prend progressivement de l'ampleur à l'Académie à la fin du 17^e siècle et au début du suivant, par les machines qu'elle est chargée d'expertiser.

1.E. UNE PROBLEMATIQUE DE SUBSTITUTION INHERENTE AUX RECHERCHES SUR LES MACHINES ET LES ANIMAUX

Il s'agit ici de mettre en avant que la problématique de substitution des forces les unes par les autres a créé une demande : celle du calcul exact des machines, de sorte à pouvoir prévoir, portée en outre par une volonté de maximiser.

Cette problématique de substitution, ainsi que celle de maximisation, ne sont pas nouvelles. Elles sont liées depuis la Renaissance à des enjeux économiques et au monde des ingénieurs, pour qui la limitation des ressources impose de faire beaucoup avec peu, voire plus avec moins.

Le but n'est donc pas ici de montrer leur nouveauté, mais leur présence au sein d'une institution nouvelle qui se donne pour but l'utilité en associant en un lieu physique et mental unique, spéculation et technicité, ingénieurs et théoriciens. Cette rencontre est l'une des

causes de l'émergence d'une forme de technologie, une science des techniques, au début du 18^e siècle avec Parent notamment à propos des roues hydrauliques.

La substitution, dans tout ce qu'elle charrie d'économie, ne suffit évidemment pas à elle-même à créer une notion de travail mécanique. Ce dernier est un objet complexe, une construction dont les dimensions mécaniques, sociales et économiques sont indissociables. Son apparition nécessite ainsi une appréhension des forces en mouvement, un détachement de la statique, une interrogation sur les frottements, une vision de la machine et des hommes comme entités productives transmettant en sortie ce qui est reçu en entrée, une pensée de la conservation assurant la possibilité d'existence d'une notion de rendement, la recherche d'une mesure jugée comme caractéristique de la production, et l'acquisition d'une légitimité de cette mesure à devenir le point nodal de jugement de celle-ci. On comprend alors pourquoi elle passe par la construction d'une technologie, d'une science des techniques, et l'interrogation sur le travail.

La substitution est inséparable de toutes ces notions. Le fait même de vouloir substituer une force à une autre répond à une donnée économique, amenant à la nécessité d'un calcul mécanique.

Concernant la donnée économique, deux types de motivation sont en jeu. Soit remplacer les hommes par des chevaux, ou ceux-ci par le vent ou l'eau, afin d'économiser leur prix d'entretien (salaires par exemple), ou simplement parce qu'on manque d'équidés ou que la tâche nécessiterait trop d'hommes ; soit au contraire remplacer le vent ou l'eau par les forces organiques, parce qu'on ne dispose pas de ces éléments dans la région où l'on envisage d'utiliser la machine, ou parce qu'on vise une production à la fois régulière et permanente.

Une donnée économique qui implique immédiatement une donnée mécanique : vais-je obtenir le même produit avec la nouvelle force mouvante ? Et quelle quantité de force mouvante (combien de chevaux, par exemple), sera nécessaire pour obtenir le même produit ? D'où la nécessité d'un calcul et d'une mesure représentative du produit et de la force.

Ce sont ces dimensions dont il convient de repérer la présence au sein de l'Académie, et dont le rôle fut essentiel. La substitution va de pair avec la prévision, et dans l'époque où on l'observe, s'accompagne d'une pensée de la maximisation. On ne comprend pas l'émergence du travail mécanique si l'on n'a pas ces notions en tête.

1.E.a. LA SUBSTITUTION DANS LES MACHINES ET INVENTIONS PRESENTEES A L'ACADEMIE

1.E.a.i FAIRE DE LA TOILE SANS OUVRIERS

Cette problématique de substitution, constitutive de la science naissante des machines, trouve à s'illustrer particulièrement chez les inventeurs et ingénieurs au contact avec le monde du travail et présentant leurs machines à la sagacité des savants. C'est l'une des voies par lesquelles les savants sont au contact de l'industrie de leur temps. On en trouve ainsi un exemple en 1678, dans une *Nouvelle machine pour faire de la toile, sans l'aide d'aucun ouvrier, présentée à l'Académie Royale* par M. de Gennes, officier de la Marine¹²⁷. Elle figure dans le Journal des Savants de ladite année, mais pas, à notre connaissance, dans les comptes rendus de l'Académie.

¹²⁷GENNES, DE, "Nouvelles machine pour faire de la toile sans l'aide d'aucun ouvrier", in LA ROQUE, J.-P. D. (ed.), *Journal des sçavans*, vol. XXVII, Paris, Jean Cusson, 1678, 317-320.

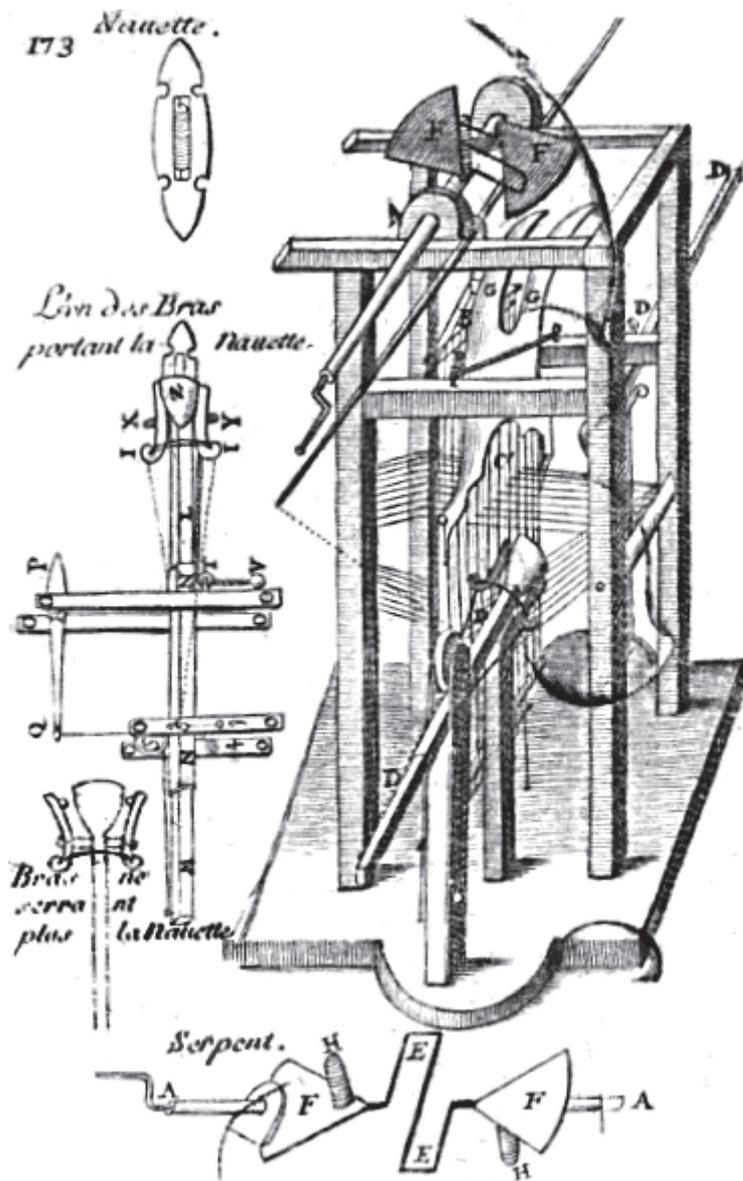


Figure 7 : Machine pour faire de la toile sans ouvrier, telle qu'elle apparaît p. 320 du numéro XXVII (8 août 1678) du *Journal des sçavans* (édition originale). Pour cette reproduction, nous avons utilisé l'édition de 1724 (chez Pierre Witte), p. 173.

D'après la description du *Journal des Sçavans*, "Cette machine n'est autre chose qu'un Moulin, au mouvement duquel sont appliquées toutes les pieces du métier ordinaire."¹²⁸ et "Le mouvement de toute la machine se fait à mesure que l'on remüe la manivelle du serpent [FF sur la figure] ; car alors les coudes font ouvrir les fils, & d'abord l'un des bras commence à se glisser dedans, & va jusqu'au bras opposé, auquel il porte la navette & se retire incontinent. En même temps un des quarts de cercle qui tenoient le

¹²⁸ *Ibid.*: 317

Battant élevé le quitte & le laisse frapper, & ensuite le quart de cercle opposé le relevant, l'autre coude change les fils, & l'autre bras s'allonge & ainsi consecutivement."¹²⁹ (319)

L'auteur met l'accent sur quatre avantages par rapport aux métiers à tisser ordinaires :

1. Un seul moulin peut mouvoir de dix à douze métiers, l'auteur disposant en outre d'un moyen pour arrêter une machine si besoin sans arrêter les autres.
2. La largeur de la toile pourra être choisie, et pourra notamment être beaucoup plus importante que celles faites alors.
3. Moins de fils seront rompus, car la navette ne les touche pas.
4. Enfin, "la besogne ira bien plus vite & à moins de frais" puisqu'en lieu et place des nombreux ouvriers, "un seul garçon suffira" pour réparer les fils et mettre les bobines dans la navette.¹³⁰

Il propose même un moyen afin que la toile se plie durant sa fabrication.

On le voit, aucun des avantages cités ne met en avant une quelconque volonté de libérer l'homme du travail. Le seul souci réside dans l'augmentation de la production, la réduction des coûts, la rapidité de l'ouvrage, et sa perfection de l'ouvrage. En un mot, l'intérêt est économique.

Cette machine eut un certain retentissement, puisqu'on la retrouve la même année dans les *Philosophical transactions* p. 1004. La tentative de Gennes a en outre été saluée à maintes reprises, notamment par Poncelet, qui la décrit pertinemment comme issue de la volonté "d'assujettir les divers organes du métier à tisser à des mouvements purement automatiques"¹³¹. En ce sens, elle présente de notables similitudes avec celle que Vaucanson construira dans les années 1740, et décrite dans le mercure de France pour l'année 1747¹³² :

¹²⁹ *Ibid.*: 319

¹³⁰ *Ibid.*

¹³¹ PONCELET, JEAN-VICTOR, *Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures 2vols., vol. 2, Paris, Imprimerie Impériale, 1857: 332*

¹³² Cf. à ce sujet, le très vieil article de BALLOT, C., "L'évolution du métier lyonnais au XVIIIe siècle et la genèse de la mécanique Jacquard", *Revue d'histoire de Lyon, XII, 1913, pp 1-52. Réimprimé en 2008 aux éditions BiblioBazaar.*

Sur le sujet de Vaucanson et des automates, on consultera avec profit les actes à paraître des colloques de son tricentenaire, notamment ROUX, SOPHIE, GAILLARD, AURELIE, GOFFI, JEAN-YVES & ROUKHOMOVSKY, BERNARD (éd.), *L'automate. Modèle, métaphore, machine, merveille, actes du colloque de Grenoble (19-21 mars 2009)*, Bordeaux, Publications de l'Université de Bordeaux, 2010. Notamment les papiers de Sophie Roux ("Le parfait mécanicien"), Jean-Luc Martine "Vaucanson comme personnage conceptuel dans l'Encyclopédie : le machiniste, le mécanicien et les raisons des Lumières", Paolo Quintili ("Machine, travail et vie : Jacques Vaucanson dans l'Encyclopédie"), Grégoire Chamayou ("L'émeute des automates. Vaucanson et la révolte

[...] c'est une machine avec laquelle un cheval, un bœuf, un âne font des étoffes bien plus belles et bien plus parfaites que les plus habiles ouvriers en soie.

Cette machine consiste en un premier mobile, en forme de cabestan, qui peut communiquer son mouvement à plusieurs métiers à la fois pour y faire toutes les opérations nécessaires à la fabrication des étoffes.

Ce cabestan mû par une force quelconque, on voit sur le métier l'étoffe se fabriquer sans aucun secours humain [...]

[...] et tout cela se fait sans fatiguer la soie et sans qu'elle reçoive aucun frottement, car la navette passe la trame sans toucher la chaîne ni même le peigne, et les lisses qui font ouvrir la chaîne ne la touchent jamais deux fois au même endroit.

[...] Un cheval attelé au premier moteur peut faire travailler trente de ces métiers, une chute d'eau un bien plus grand nombre, et, si l'on voulait y employer des hommes, un seul en ferait aller un fort aisément. Un métier fait par jour autant d'étoffe que le meilleur ouvrier quand il ne perd pas de temps [...]¹³³

Vaucanson cependant, parviendra à une précision dans le détail du mécanisme que Gennes ne faisait qu'ébaucher. A notre connaissance d'ailleurs, aucun document n'atteste de la réalisation du métier de Gennes, au contraire de son illustre successeur. Dans les deux cas cependant, les mêmes avantages productifs sont cités.

De Gennes n'est pas un inconnu des académiciens. Sa qualité d'officier de marine l'a amené à fréquenter les savants, notamment Cassini, dans le cadre des projets cartographiques de l'Académie.¹³⁴

Sa machine, comme beaucoup d'autres de son temps, répond à une préoccupation : comment obtenir une force de travail régulière en toute situation ? La solution privilégiée réside dans la substitution : remplacer les hommes par un courant d'eau s'il en existe de disponible, remplacer la force de l'air par des chevaux lorsque la configuration typographique ne permet pas l'emploi de la première, etc.

C'est aussi l'intérêt de la machine pour scier des planches, mue par un cheval, inventée par Du Quet¹³⁵ (Annexe 03). Son intérêt, et ce pourquoi elle reçoit l'approbation de

contre les machines"), Aurélia Gaillard, ("Les automates du XVIIIe siècle : des machines à imiter des machines").

Sur la mécanisation du textile, on peut se reporter aux papiers de : Serge CHASSAGNE ("Les difficultés des débuts de la mécanisation dans le textile (coton et indienne, laine et lin) entre 1780 et 1830"), Florence CHARPIGNY ("Les moulinières et leurs moulins : un « discours en creux »"), Franck DELLION ("Pourquoi mécaniser ? le cas de la Schappe à Briançon") in *Des machines et des hommes. Autour de la figure de Vaucanson, actes des journées d'étude de Grenoble (22-23 janvier 2009)*.

Cf. également l'exposition "VAUCANSON et l'homme artificiel. Des automates aux robots", Du 21 avril 2010 à fin 2011, Grenoble, Musée dauphinois, 30 rue Maurice Gignoux, 38000 Grenoble, donnant lieu à la publication (à venir) de : SPILLEMAECKER, CHANTAL (éd.), *Vaucanson, l'homme et la machine, Grenoble, Musée Dauphinois, 2010*.

¹³³ Cité in BALLOT, "L'évolution du métier lyonnais au XVIIIe siècle et la genèse de la mécanique Jacquard": 29-30.

¹³⁴ STROUP, ALICE, "Royal Funding of the Parisian Académie Royale des Sciences during the 1690s", *Transactions of the American Philosophical Society*, 77, n° 4, 1987, pp 1-167: 54.

l'académie, ne se trouve ni dans son coût, qui est supérieur aux machines à scier ordinaires, ni sur son mécanisme, plus complexe, ni sur son principe, similaire à celui des machines alors en usage en Picardie, mues par l'eau ou le vent. Son intérêt est autre : il permet de pouvoir produire des planches en toutes circonstances, quand on ne dispose pas d'une source d'énergie telle que l'eau pour mouvoir la machine.¹³⁶ Il continuera dans la même veine en 1699, toujours avec une machine à scier (Annexe 04), mais capable de faire jouer "six ou sept scies qui tailleront le marbre & les pierres dures, d'une vitesse égale à celles des scieurs"¹³⁷ ; ainsi qu'avec sa machine pour scier des tambours de colonnes et autres pièces courbées, "mû seul par tel moteur que l'on voudra"¹³⁸, la même année.

1.E.a.ii LES MACHINES POUR REMONTER LES BATEAUX, UN ENJEU ECONOMIQUE

Du Quet revient constamment à l'Académie présenter des machines dont la substitution est au cœur de la problématique. Il propose ainsi, en 1702, une machine à remonter les bateaux utilisant la force de la rivière elle-même. C'est la première des machines de ce genre que nous allons examiner, ancêtre des toueurs¹³⁹ très utilisés entre 1850 et 1950 sur la Seine et le Rhône principalement.

¹³⁵ GALLON, J.-G. (éd.), *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences depuis son établissement... avec leur description*, 7 vols., Paris, G. Martin, J.B. Coignard fils, H.L. Guérin, 1735-1777: 1, 115 sq.

¹³⁶ *Les scies hydrauliques sont utilisées dès l'antiquité pour le marbre, comme le signalait Ausonne dans son poème sur la Moselle au IV^e siècle après J.-C. .Par ailleurs Jacques Seigne a fouillé un moulin à scier le marbre daté du VII^e siècle après J.-C. pourvu de deux scies, alors que Tullia Riiti et Klaus Grewe ont identifié l'image d'un autre sur un sarcophage du III^e siècle après J.-C. : cf RITTI, TULLIA, GREWE, KLAUS & KESSENER, PAUL "A Relief of a Water-powered Stone Saw Mill on a Sarcophagus at Hierapolis and its Implications", *Journal of Roman Archaeology*, 20, 2007, pp 138–163, SEIGNE, JACQUES, "A sixth-century waterpowered sawmill at Jerash", *ADAJ*, 46, 2002, pp 205-213, SEIGNE, JACQUES, "Une scierie mécanique du VI^e siècle", *Archéologia* n° 385, 2002, pp 36-37. Au Moyen-âge, on ne sait pas si elles furent utilisées. Mais les comptes des bâtiments du roi signalent un compte de Philibert Delorme de 1559 pour la fabrication d'une scie à scier le marbre de la sépulture du roi François 1^{er} mort en 1547 : LABORDE, LEON DE, GUIFFREY, J.-J. & SOCIETE DE L'HISTOIRE DE L'ART FRANÇAIS (éd.), *Les comptes des bâtiments du Roi (1528-1571) : suivis de documents inédits sur les châteaux royaux et les beaux-arts au XVI^e siècle*, vol. 1, Paris, J. Baur, 1877-1880: 353. Nous devons ces renseignements à l'amabilité de Paul Benoît, professeur émérite au laboratoire de médiévistique occidentale (lamop) de l'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.*

¹³⁷ ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (éd.), *Histoire et Mémoire de l'Académie Royale des Sciences*, 97 vols., Paris, J. Boudot, 1702-1797: 1699, H, 121 .

¹³⁸ *Machines*: 1, 172.

¹³⁹ *Un toueur est un navire amphidrome, c'est-à-dire pouvant se déplacer dans les deux sens indifféremment, possédant un mode de propulsion par appui au sol. Le touage fut progressivement remplacé par le remorquage. Les toueurs ont connu trois applications successives : l'aquamoteur, dont le moteur était constitué par la force mouvante de la rivière (c'est ce que nous examinons dans ce paragraphe), le touage dit à chaîne noyée continue et enfin celui à câble à relais. Sur ce sujet, on peut se reporter à DESCOMBES, RENE, *Chevaux et gens de l'eau: sur les chemins de halage, Coudray-Macouard, Cheminements*, 2007: 229-237. Voir aussi : LE SUEUR, BERNARD, "Ces drôles de machines à remonter les bateaux: les toueurs", *Chasse-Marée*, n° 174, 2004, pp 40-51.*

Cette machine permet de remonter les bateaux par la force même du courant, vers un point fixe (on donne la figure et la description en Annexe 05). La machine de Du Quet n'est pas qu'une idée ingénieuse. Elle a fait l'objet d'expériences devant la commission nommée par l'Académie pour son examen, réunissant quelques uns des mécaniciens les plus pragmatiques de l'époque : Guillaume Amontons, Jean-Mathieu de Chazelles, Jacques Jaugeon, Joseph Sauveur, et le père Sébastien Truchet.¹⁴⁰ Elle n'est pas la première de son genre, mais est préférable aux autres en ce qu'elle est 1° *“plus simple, [et] par consequent coutera moins à construire”* et 2° *“la manière dont passe le cable pour la remonte est aisée, & [...] la quantité de cordage qui se trouve dans les autres y est supprimée.”*¹⁴¹ L'auteur insiste sur l'avantage économique souligné selon lui, par les commissaires mêmes : *“Quoique la dépense pour l'établissement des bateaux paroisse être considérable, la suppression de celle des chevaux dans le tirage ordinaire fourniroit un si grand fonds, qu'il y auroit lieu d'espérer un profit très-grand, ce qui peut être examiné par un devis estimatif fait sur les lieux, après quelques expériences en grand, & qui ne couteroit pas beaucoup.”*¹⁴²

Cette machine, précise l'auteur, comme toutes celles basées sur le même principe, ne peut être utilisée que dans un courant rapide, et ne saurait se remonter elle-même tandis qu'elle remonte sa charge. Des expériences ont ainsi montré, nous dit-il, que cet effet ne serait possible qu'en des espaces extrêmement limités, là où le courant de la rivière serait bien plus fort qu'ailleurs. Or les inégalités de la vitesse du courant d'une rivière sont causées par ses différentes largeurs, et la vitesse rapide n'est jamais que transitoire dans ces conditions.

A qui Du Quet pense-t-il en émettant cette critique? Il est bien possible qu'il ait en tête la machine de l'académicien Antoine Parent, présentée à l'assemblée deux ans auparavant, le 21 novembre 1699¹⁴³ (figure et description en Annexe 06).

Quoiqu'il en soit, la machine de Du Quet semble bien plus praticable que celle de Martenot présentée la même année, où la substitution n'apparaît pas. Son principe est donné par une roue munie de griffes de fer au contact du lit de la rivière, et reliée par une chaîne à une roue plus petite disposée sur le pont du bateau à remonter. En actionnant cette dernière roue par l'intermédiaire d'un cabestan transmettant la force des ouvriers, les griffes de fer, plantées dans le lit de la rivière, sont censées servir de points d'attaches permettant la

¹⁴⁰ *Machines*: 2, 33.

¹⁴¹ *Ibid.*

¹⁴² *Ibid.*

¹⁴³ Antoine Parent, *“Explication d'une machine pour faire remonter des vaisseaux contre le courant d'une rivière par la rivière même”* in *PV ARS*: 18 (1698-99), f° 512 r° sq.

remontée du bateau. “*Mais il y a apparence que ces griffes au lieu de devenir des points fixes, ne feront que labourer ; c’est pourquoi cette machine, comme l’a dit l’Académie, est ingénieuse, mais de peu d’usage.*”¹⁴⁴

Lavier réalise la synthèse de ces deux précédentes machines en 1707 en reprenant d’une part le principe de la rivière comme moteur de la remontée du bateau, et le système de crocs s’enfonçant dans le lit et servant de point fixes. (cf. Annexe 07). L’académie l’approuve sans enthousiasme.¹⁴⁵

Dans une logique propre à l’esprit du temps, les inventeurs cherchent alors à obtenir toujours plus de leurs principes. Chabert donne ainsi en 1710 l’idée d’une machine à remonter plusieurs bateaux, qui impressionne par son gigantisme (voir figure et description en Annexe 08).

Chabert affirme pouvoir ainsi remonter de nombreux bateaux de concert. La machine, cependant, ne figure pas dans la liste des machines approuvées dans les MARS 1710. Et on reste quelque peu dubitatif sur le caractère réalisable d’une machine si encombrante, sur son coût, et surtout sur son efficacité.

Plus tardivement, en 1722, un certain Drouet proposera une autre machine à remonter les bateaux (Annexe 09), qui multiplie les roues et les tambours, espérant ainsi récupérer une plus grande force motrice de la rivière.

Le principe de toutes ces machines ne semblait guère mis à profit jusque là, puisqu’en 1693, Bouillet qualifie encore de “curieuse” une machine semblable, inventée par Graville et utilisée un temps à Lyon¹⁴⁶ :

[Cette] machine rapportée par le Pere de Challes, a esté inventée par Monsieur de Graville, & experimentée à Lion sur des batteaux chargez de sel. Cette machine sert à remonter les rivieres les plus rapides sans rames, sans voiles, & sans aucun effort ; & elle a cela de particulier, qu’elle choisit d’elle-mesme l’endroit du courant le plus rapide. On épargne avec cette machine la dépense des chevaux qui est considérable, puisqu’il en faut cinquante ou soixante pour tirer une barque chargée de sel dessus le Rosne, & qu’un coup de gouvernail donné mal à propos, entraîne souvent tous ces chevaux à la fois dans la riviere, & en fait noyer une partie.

[...] On attache un des bouts du cable à un pieu, un arbre, ou à quelqu’autre chose immobile qui se rencontre sur le bord ; & l’autre bout à l’essieu des rouës : ainsi le batteau estant dans le courant de l’eau, remonte sans qu’on le tire. [...]

¹⁴⁴ *Machines*: 2, 26.

¹⁴⁵ *Ibid.*: 2, 141-142.

¹⁴⁶ BOUILLET, *Traité des moyens de rendre les rivières navigables avec plusieurs desseins de jettées, ponts à rouleaux & rampans, ecluses, soûtiens, digues, coffres pour bâtir sous l’eau, & autres machines dont on se sert en Hollande & ailleurs, pour remedier aux obstacles qui s’opposent à la navigation des rivieres, & pour approfondir les canaux & curer les ports. Où il est aussi parlé des moyens de retirer les bâtimens coulez à fond, & d’en sauver les marchandises. Ouvrage très-utile à tous les ingénieurs & à tous ceux qui se mêlent de bâtimens & de machines, Paris, Estienne Michallet, 1693: 87.*

On a employé quarante-deux jours par cette invention, n'ayant qu'un cable ; & suivant la supposition qu'on en fait, on perdoit la moitié du temps à changer le cable ; d'où il est aisé de conclure, que quand le Rosne est assez fort, on peut le remonter en dix-huit ou vingt jours, n'ayant que deux chevaux, & moins de monde que dans les trains ordinaires.

Ce Pere assure que cette invention peut réussir sur toutes les rivières de France, & que la raison pour laquelle on n'a pas continué de s'en servir, ne vient pas du défaut de la machine, mais de quelques contrariétés particulieres qu'on a faites à l'Inventeur.¹⁴⁷

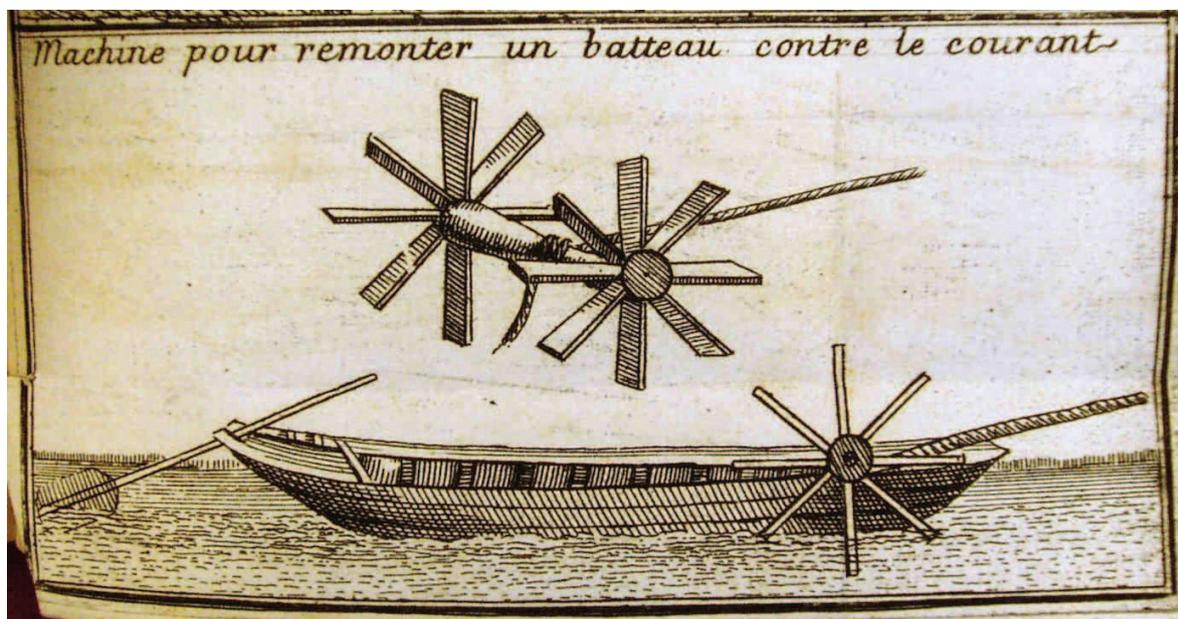


Figure 8 : “Machine pour remonter un batteau contre le courant” (détail de la planche 11 figurant page 92 du *Traité des moyens de rendre les rivières navigables*, de Bouillet, de l'exemplaire coté 340542 de la Bibliothèque Municipale de Lyon)

Cette machine n'est que l'une de celles composant son traité, et dont toutes ont pour objectif de rendre les rivières navigables, comme indiqué dans le titre. Mais Bouillet ne se contente pas de présenter des machines qu'il a repérées ailleurs, notamment en Hollande. La préface de son ouvrage est en effet un plaidoyer pour une implication plus forte des “sçavans” dans la science des machines :

Il seroit seulement à souhaiter que les sçavans qui se sont mêlez de ces ouvrages avec tant de succès, voulussent bien faire part au public des belles choses que la pratique & la méditation leur a enseignées sur ce sujet.¹⁴⁸

Bouillet ne pense pas que la France soit en retard, mais que les inventions ingénieuses sont restées limitées à des cercles d'initiés ne les ayant pas diffusées. Cependant, Bouillet pousse la logique un cran plus loin. Il n'a pas en tête seulement un dévoilement, mais la création d'une nouvelle science, dont il revendique le nom, l'*architecture hydraulique* :

¹⁴⁷ *Ibid.*: 89-93.

¹⁴⁸ *Ibid.*: Préface, n.p.

[...] la France est maintenant le Royaume dans lequel les sciences fleurissent avec le plus d'éclat, & où les sçavans de toutes les nations sont receus avec le plus d'agrément, & le mieux recompensez [...]

Tous ces Auteurs ont negligé une partie qui depend de l'une & de l'autre architecture [militaire et civile], & dont on commence cependant à reconnoître l'utilité. [...]

Cette partie est celle qui enseigne à sonder avec solidité les ouvrages qui se font dans la mer, à faire des digues, des ecluses, des jettées, des bastardeaux, des ponts, à rendre les rivières navigables pour faciliter le commerce, à rassembler les eaux pour divers usages, à couper les canaux, &c. qu'on ne sçauroit nommer sans circonlution, si l'on ne me permet de lui donner le nom nouveau d'*Architecture Hydraulique*.

Pour la traiter à fonds il faudroit la vie d'un homme, & les secours de tous les sçavans sur cette matiere ; & qu'il n'y a pas un bâtiment ny une machine, qui pour estre developpez comme il faut, ne demandassent un volume de la grosseur de celui-ci.¹⁴⁹

[...] Plusieurs personnes m'ont déjà demandé de quelle utilité peut estre ce Livre en France, où il n'y point de rivieres qui ne soient navigables ? C'est faute de connoistre celles qui ne le sont pas, & qui pour cela mesme ont peu de nom. Et sans parler des rivieres de Bearn, qui le peuvent devenir en y travaillant, & qui enrichiroient le païs, & y mettroient le commerce. Combien de marchandises se voient par terre faute d'attention à une petite riviere, dont les eaux bien menagées porteroient des batteaux, & épargneroient ces voitures ? Il n'y a presque pas d'endroits en France, où il ne se trouve de ces rivieres negligées, & qui ne le devroient pas estre, tant on sçait peu s'aider des secours que la nature nous offre ;¹⁵⁰

La navigabilité des rivières n'est donc pas seulement une question d'ingénierie ou de science, mais également d'économie : innovations techniques et calculs des savants se conjuguent avec épargne et circulation des richesses. En cette fin de siècle, cette dernière thématique se fait plus palpable, plus concrète. On la retrouve à l'identique chez un Filleau des Billettes inventant de nouvelles écluses¹⁵¹, et chez son comparse le duc de Roannez qui lance une entreprise de nouvelle navigation de la Seine¹⁵². On la perçoit de même chez Boisguilbert, par exemple.

Il faut croire que son appel ait été entendu, puisque Fontenelle en 1699 affirme, dans un discours traitant de l'utilité des mathématiques et de la physique:

Telle est la destinée des Sciences maniées par un petit nombre de personnes ; l'utilité de leurs progrès est invisible à la plûpart du monde, sur tout si elles se renferment dans des professions peu éclatantes. Que l'on ait presentement une plus grande facilité de conduire des rivieres, de tirer des canaux, & d'établir des navigations nouvelles, parce qu'on l'on sçait sans comparaison mieux niveller un terrain, & faire des ecluses, à quoy cela aboutit-il ? Des maçons & des mariniers ont été soulagés dans leur travail, eux-mêmes ne se sont pas apperçûs de l'habileté du géometre qui les conduisoit, ils ont été mûs à peu près comme le corps l'est par une âme qu'il ne connoît point ; le reste du monde s'apperçoit encore moins du génie qui a presidé à l'entreprise, & le public ne jouït du succès qu'elle a eu qu'avec une espece d'ingratitude.¹⁵³

¹⁴⁹ *Ibid.*

¹⁵⁰ *Ibid.*: Préface, n.p.

¹⁵¹ FILLEAU DES BILLETES, GILLES, "Description d'une nouvelle porte d'écluse qu'on a pratiquée dans l'entreprise de la nouvelle navigation de la Seine", *HMARS*, 1699, M, 63-68.

¹⁵² MESNARD, JEAN, *Pascal et les Roannez*, 2 vols., Paris, Desclée de Brouwer, 1965.

¹⁵³ *HMARS*: 1699, v-vi.

On peut douter que les géomètres aient accompli autant de travail que ne le dit Fontenelle. Mais l'important est que désormais, suivant le vœu de Bouillet, l'architecture hydraulique soit devenue un objet scientifique, digne de l'attention des géomètres. La résolution de ces nouveaux problèmes implique de nouvelles procédures. On en retrouvera la filiation directe avec Bélidor, que nous examinerons au chapitre 3.

1.E.a.iii LES AUTOMOBILES EOLIENNES DE DU GUET

Du Quet, infatigable inventeur et champion de la substitution, poursuit sur la même logique en 1707 dans un ingénieux moulin faisant agir les pompes d'un navire par la marche même du navire (Annexe 10). Le bateau voguant à voile, le sillage permet le mouvement des pompes, par la force de l'eau contre les aubes du moulin. Mais il apporte en 1714, année faste, une remarquable contribution : il invente deux chariots à voile (Annexe 11 et Annexe 12), qu'il se propose ensuite d'appliquer à un vaisseau (Annexe 13), ainsi qu'un tombereau se chargeant et marchant par le moyen du vent (Annexe 14). Contrairement à ce que l'on attend, ces chariots n'utilisent pas le vent comme simple force de traction, à l'image des voiles d'un bateau sillonnant la mer. Ils ne sont donc pas du tout de sortes de planches à voiles sur roues. Au contraire, ils utilisent la force du vent sur le mode des moulins à vent : c'est-à-dire qu'il existe un intermédiaire entre la force du vent et le mouvement du chariot, donné par le mécanisme. Le premier chariot à voile est le plus original, car il se propose non pas de faire actionner les roues par un mouvement de rotation, mais de faire marcher quatre pattes de bois allant deux par deux. En somme, le principe de ce chariot est de pousser alternativement des perches dans le sol vers l'arrière, afin d'obtenir en réaction un mouvement vers l'avant.

C'est une automobile originale et ingénieuse que propose Du Guet, mais utilisable uniquement en plaine ventée. En effet, *“la rencontre des villages, des bois, &c. obligeront d'y atteler des chevaux pour la mettre en plein air ; les inégalités des chemins peuvent encore s'opposer à sa réussite.”*¹⁵⁴

Qu'à cela ne tienne, Du Quet propose un deuxième chariot (Annexe 12). Les ailes du moulin, au nombre de douze, sont cette fois maintenues entre deux cercles concentriques de bois, afin de faciliter leur mobilité. Il actionne toujours un système bielle-manivelle, et sa mécanique est ingénieuse (cf. description de l'Annexe 12).

¹⁵⁴ *Machines*: 3, 35.

Du Quet a alors l'idée d'appliquer son principe à la marche d'un vaisseau (Annexe 13). Il propose ainsi de remplacer les voiles d'un vaisseau par un moulin à vent semblable à sa deuxième machine, dont la rotation servirait à mouvoir continûment deux roues sur laquelle serait fixées quatre pales, à la manière des roues de moulin à eau. En somme, Du Quet propose un moulin à vent pour faire mouvoir un moulin à eau inversé par l'intermédiaire d'un mouvement rectiligne alternatif. On peut se poser la question de savoir si cette machine est réellement plus efficace qu'un bateau simplement tracté par le vent. L'avantage, cependant, et de pouvoir naviguer sous n'importe quel vent, puisque le moulin à vent est orientable à loisir.

Enfin, le sieur Du Quet propose une autre application à sa deuxième machine : un tombereau qui, en plus de se mouvoir seul comme précédemment, permet de pelleter de la terre meuble (Annexe 14).

1.E.a.iv BATTRE SANS BATTEURS, MOUDRE SANS VENT, LABOURER SANS BESTIAUX

Il existe bien d'autres exemples de cette problématique de substitution à l'Académie, que nous ne développerons pas. Citons pêle-mêle : le 29 juin et le 4 juillet 1711 à l'Académie¹⁵⁵, François Chevallier lit un écrit sur les pompes de Bartholomeus Laurentinus, dédié au roi du Portugal, où il "*se propose d'épargner aux équipages des vaisseaux le travail de pomper*", en présentant cinq différentes manières de faire ce travail sans le secours des hommes. En 1716, le 12 décembre, La Hire dans les mêmes procès-verbaux donne l'idée d'une nouvelle construction de pompes, actionnées par le vent et l'air au lieu des animaux, fournissant continuellement de l'eau dans le réservoir à la différence des autres où le mouvement alternatif crée une discontinuité. Cyclicité, régularité et maximisation sont au menu. Ou encore Martenot, un inventeur, qui donne le moyen de faire tourner les moulins à vent par les chevaux durant les temps où le vent ne souffle pas, en 1717.¹⁵⁶ Si nous nous aventurons un peu en dehors de l'Académie, aux Archives de la Marine, nous verrons apparaître là beaucoup des noms d'inventeurs qui fréquentent également l'Académie, tel que le sieur Thomas. On y trouve de lui en 1704, une machine pouvant moudre le blé et actionner quantité d'autres machines sans vent ni eau, avec des hommes ou chevaux. Le but avoué par l'auteur est de réduire les coûts et de rendre les moulins beaucoup plus profitables qu'ils ne sont. Il propose également : une machine à élever les fardeaux nécessitant un seul homme au

¹⁵⁵ PV ARS: 30, 1711, 269 r° sq.

¹⁵⁶ Ibid.: 36, 1717, 95 r°.

lieu de douze, une grue du même usage, une machine pour faire aller les vaisseaux sans vent avec 40 hommes seulement, et un procédé pour fabriquer les ancres avec moins d'hommes. Substitution, maximisation.¹⁵⁷

Par ailleurs, Du Quet, dont on a vu l'ingéniosité, donne encore en 1722 une "machine pour battre le bled que l'on peut employer au lieu de batteurs en grange"¹⁵⁸ (Annexe 15). Le moteur de cette machine est donné par un cheval. La machine, par son mécanisme, ira toujours de manière uniforme. L'histoire de l'Académie pour l'année 1722, qui est publiée en 1724, donne le commentaire suivant :

"Une machine de M. du Quet, qui supplée au manque de Batteurs en Grange par le moyen d'une manivelle coudée, qui communique fort ingénieusement le mouvement alternatif des Fleaux. Depuis, on a sù qu'elle a été mise en usage avec succès."

La même année, M. de La Gâche propose un petit moulin pour moudre "*une quantité assez raisonnable de farine en peu de temps*", selon le jugement de l'Académie. "*La machine n'est autre chose que le moulin ordinaire à eau ou à vent, réduit à bras*".¹⁵⁹

Enfin en 1726, un certain Lassise, menuisier de Farmoutier en Picardie¹⁶⁰, donne un *moulin pour labourer les terres sans bestiaux*¹⁶¹. Une charrue mue par le vent, donc. Fontenelle a soin de remarquer la différence entre cette charrue et le chariot à voiles que Du Quet a voulu employer au même usage. Il loue le génie et l'inventivité de l'auteur, mais fait remarquer les inconvénients "sans remèdes" de toutes ces sortes de machines : elles dépendent entièrement de la présence du vent et ne peuvent servir que dans les lieux plats et découverts. En conséquence de quoi, "*il ne faut point dispenser les gens de la campagne de nourrir autant de bœufs et de chevaux, qu'ils ont présentement.*"¹⁶² Remarque curieuse s'il en est, et qui signe un aveu d'échec du projet technologique entrepris quelques années plus tôt. Par l'étude des machines, par l'invention de nouvelles épargnant la force des chevaux, par le calcul, les académiciens pensaient pouvoir multiplier l'effet des forces motrices. Mais les progrès s'avèrent lents, et se heurtent à des obstacles techniques importants. Fontenelle, ici, semble ajouter un peu d'eau à son vin, et prévenir le risque de voir une population, ou du moins les propriétaires, gagnés par l'enthousiasme, délaisser la source principale d'énergie de

¹⁵⁷ ANONYME, "Memoire a Monseigneur le Mareschal de Coeuure concernant les machines que le Sr Thomas Ingénieur du Roy a inventées qui doivent estre d'une utilité très considerable pour le service du Roy et du public", Paris, Archives Nationales, 1704 .

¹⁵⁸ *Machines*: 4, 27.

¹⁵⁹ *Ibid.*: 4, 38.

¹⁶⁰ Selon Fontenelle, *HMARS*: 1726, H, 69.

¹⁶¹ *Machines*: 4, 157 sq.

¹⁶² *HMARS*: 1726, H, 69.

l'époque, les chevaux et les bœufs. Cette recherche de croissance des forces mouvantes se retrouve aussi clairement dans les recherches contemporaines sur l'utilisation de la poudre et du feu dans les moteurs.

1.E.b. LE FEU ET LA POUDRE : DE NOUVEAUX MOTEURS

On le sait, Guillaume Amontons inventera, sur le papier, un moulin à feu en 1699 (cf. chapitre 2). C'est dans le but de comparer le produit de ce moulin avec celui des hommes et des chevaux en situation de travail qu'il sera amené à créer une mesure que l'on peut considérer comme un antécédent du travail mécanique. Dans cette optique, il est important de remarquer que les idées d'Amontons ne naissent pas du néant : elles sont déterminées par un environnement intellectuel qui a fait de la création de nouvelles sources de force mouvante un point important de sa démarche.

Entre 1699 et 1726, on observe au moins 5 propositions de machines à feu à l'Académie, plus encore si on compte celles de Papin, que nous n'examinerons cependant pas ici. Toutes peuvent se résumer à une logique de maximisation et d'épargne, comme toutes celles que nous avons vues jusqu'ici. L'originalité ici tient à ce que cette force est encore à dompter. Comme le dit Fontenelle en 1699 à propos du moulin à feu d'Amontons, on n'avait pas encore jusqu'ici réussi à réduire le feu au travail, dans une métaphore qui en dit long : *“Il nous reste encore un element à subjuguier, c'est le feu, semblable en quelque sorte à ces indiens que les espagnols n'ont pû encore réduire à travailler à leurs mines.”*¹⁶³

Pour Fontenelle en effet, il semble bien que les éléments travaillent, au sens propre du terme. Il le répète à plusieurs reprises : *“Les anciens [...] ne savaient point comme nous faire travailler l'eau ou l'air en place des hommes & des chevaux”*¹⁶⁴. Cette analogie oriente les représentations. C'est en l'occurrence cette comparaison, cette idée d'une substitution, d'une interchangeabilité, qui justifie l'emploi du terme et amène à penser la machine comme un être laborieux à l'image de l'homme.

Amontons note lui-même les doutes de ses contemporains à obtenir du feu un effet régulier et utile, ceux-ci pensant qu'on ne peut en tirer que des effets “surprenants”, c'est-à-dire explosifs, tels ceux obtenus avec la poudre à canon. Il va alors démontrer le contraire en présentant son moulin à feu dans un mémoire symptomatiquement intitulé :

¹⁶³ *Ibid.*: 1699, H, 101.

¹⁶⁴ *Ibid.*

“Moyen de substituer commodément l’action du feu à la force des hommes et des chevaux”¹⁶⁵.
Nous reviendrons beaucoup plus en longueur sur le moulin à feu d’Amontons au chapitre 2.

1.E.b.i L’EOLIPYLE A POMPE DE DALESME, LE “FUMISTE”

Amontons n’est pas le seul à s’intéresser à la question du feu à l’Académie des Sciences à la même époque. André Dalesme, entré également en 1699 à l’Académie, propose une machine à feu en 1705. Disons-le immédiatement, Dalesme est un fumiste, et c’est Fontenelle qui le dit. Plus exactement un poëlier-fumiste, selon l’expression d’un certain Julia de Fontenelle.¹⁶⁶ En effet, il propose au *Journal des Sçavans* un moyen de consumer la fumée d’un feu, le 1^{er} avril 1686, et ce n’est pas une plaisanterie.¹⁶⁷ Le marchand de tuyau fumivore deviendra ensuite académicien. Prony, dans l’*Architecture Hydraulique* de Bélidor qu’il réédite, regrette qu’aucune planche de cet engin ne soit parvenue jusqu’à lui. Il est vrai que les Mémoires de 1705 sont elliptiques : “*Il a imaginé que l’on pourroit employer pour une force mouvante le ressort de la vapeur qui s’élève de l’eau chaude. Il a fait voir par une Machine où ce ressort seul faisoit jaillir de l’eau à une grande hauteur, combien il a de puissance.*”¹⁶⁸ On apprend donc que son système diffère de celui d’Amontons, en ce que ce dernier utilisait la force expansive de l’air, au lieu de l’eau comme présentement. Briggs pense que cette machine est restée au stade de la pure imagination. Il a en partie tort.¹⁶⁹ Il faut se reporter aux PV de 1705, pour en retrouver la trace. Presque personne n’est allé voir ce procès verbal particulier : nous n’avons trouvé qu’une seule occurrence (implicite) de celui-ci dans toute la littérature imprimée¹⁷⁰. Les rares occurrences de la machine à feu de Dalesme ne font référence qu’aux mémoires imprimés de l’Académie. Aussi, on se permettra de le citer plus en longueur. Le mercredi 19 août 1705, Fontenelle rapporte que

¹⁶⁵ AMONTONS, GUILLAUME, “Moyen de substituer commodément l’action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les machines”, *HMARS* 1699, M, 112-126.

¹⁶⁶ ARDENNI, PH. & JULIA DE FONTENELLE, JEAN-SEBASTIEN-EUGENE, *Manuel du poëlier-fumiste ou traité complet de cet art, indiquant les moyens d’empêcher le cheminées de fumer, l’art de chauffer économiquement et d’aérer les habitations, les manufactures, les ateliers, etc.*, 2^e éd., Paris, La Librairie Encyclopédique de Roret, 1835.

¹⁶⁷ SALLO, D. D., et al. (éd.), *Le Journal des sçavans*, Paris, Jean Cusson, 1665-: 1686, 83. Suivent les réflexions de La Hire sur cette machine. Blegny nous apprend que vivait bel et bien de cette invention : “*Le sieur Dalesme rue saint Denis près la Fontaine la Reine, vend des plumes et semelles d’acier de son invention, et encore un tuyau de tolle de fer, où l’on brule le bois sans cheminée et sans fumée.*” (BLEGNY, NICOLAS DE, FOURNIER, É. (éd.), *Le livre commode des adresses de Paris pour 1692*, 2 vols., vol. 2, Paris, P. Daffis, 1878: 76).

¹⁶⁸ *HMARS*: 1705, H, 137.

¹⁶⁹ Pour justifier ce point de vue, cet auteur cite Fontenelle (“*tout cela attend la décision souveraine de l’expérience*”), alors que ce dernier se réfère au système que Dalesme propose pour expliquer les causes qui font fumer les cheminées, et des moyens de remédier à cet inconvénient. Par ailleurs, le propos de Fontenelle est curieux, puisqu’on a vu que Dalesme avait mis en application son idée sur les tuyaux fumivores dès 1686.

¹⁷⁰ STUART, ROBERT, *A descriptive history of the steam engine*, John Knight and Henry Lacey, 1824: 49.

Mr Dalesme a fait voir à la compagnie dans la cour du Louvre l'opération d'une machine qu'il a inventée po[ur] avoir un nouveau principe de mouvem[en]t avantageux en plusieurs occasions. C'est une espèce d'éolipile[sic], à laq[uelle] il applique une pompe, il en donnera un memoire.¹⁷¹

Le mémoire existe bel et bien. Intitulé “*Employer la force du ressort de l'eau chaude qui se fait dans l'éolipile*”, il est présenté le samedi suivant, 22 août 1705.¹⁷² L'éolipyle, souvent orthographié éolipile, et parfois æolipyle, c'est, précisons le, la machine de Héron d'Alexandrie, une chaudière hermétique en partie garnie d'eau, placée sur un feu. Un tube creux sortait de celle-ci, relié à une boule creuse pouvant tourner autour d'un axe horizontal. Deux autres tubes, aussi perpendiculaires à cet axe, sortaient de cette sphère et laissaient sortir la vapeur qui alors par propulsion faisait tourner la boule. L'idée d'une autre forme d'éolipile a été inventée par Salomon de Caus en 1615¹⁷³ (voir Figure 9).



THEORESME V.

L'eau montera par aide du feu, plus haut que son niveau.

LE troisieme moyen de faire monter, est par l'aide du feu, dont il se peut faire diverses machines, j'en donneray icy la demonstration d'une. Soit vne balle de cuivre marquée A. bien soudée tout à l'en-tour, à laquelle il y aura vn sourspiral marqué D. par ou lon mettra leau, & aussi vn tuyau marqué B. C. qui fera soudé en haut de la balle, & le bout C. aproche-ra près du fond, sans y toucher, apres faut emplir ladite balle d'eau par le sourspiral, puis le bien rebou-cher & le mettre sur le feu, alors la chaleur donnant contre ladite balle, fera monter toute leau, par le tuyau B. C.

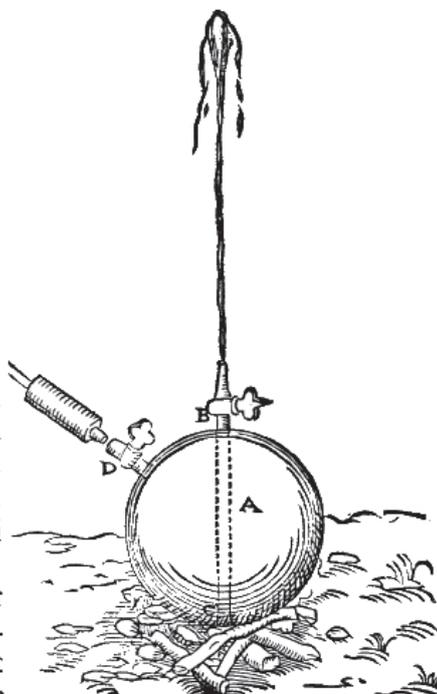


Figure 9 : Eolipile de Salomon de Caus, tirée des Raisons des forces mouvantes, 1615

La machine de Dalesme semble similaire. D'après ses expériences, l'eau de la chaudière est éjectée par le robinet à une hauteur de 50 pieds. Donc ce qui va être utilisé n'est pas la vapeur elle-même mais le jet d'eau lui-même poussé par la vapeur. A l'heure où

¹⁷¹ PV ARS: 24, 1705, 275 r°.

¹⁷² Ibid.: 24, 1705, 279 v° sq.

¹⁷³ CAUS, *La raison des forces mouvantes*: 1, 4 r°.

Dalesme donne son mémoire, il travaille, dit-il, à adapter l'éolipile à un corps de pompe pour pousser un piston.

Pour quelles applications ? La première idée de Dalesme est de l'appliquer à un cabestan de navire, qui sert notamment à lever l'ancre, qu'il pourra déplacer sans hommes. En effet, dans un navire qui revient d'un voyage de long cours, l'équipage est souvent malade et une partie a péri.

Il pense également à appliquer son éolipile à pompes aux rames d'une galère, non pour remplacer la chiourme, mais pour lui permettre de se reposer quand cela est nécessaire. Ainsi, les rameurs pourront se reposer alternativement et seront plus frais pour donner de gros efforts. En outre, la machine ne sera pas encombrante et pourra être remise aisément quand nécessaire. Elle pourrait servir également à monter l'antenne de la galère, laissant la chiourme disponible pour la rame.

Quand cette machine dépenseroit, quand elle travail[eroit] 6 fois plus que les homes, a proportion de la force et effet qu'elle fera ou a proportion de ce qu'elle aydera, elle ne laissera pas d'être très utile po[ur] les manœuvres violentes et qui arrive[n]t rarement, & qui fatiguent l'équipage, surtout quand il est déjà fatigué.¹⁷⁴

Sur terre, Dalesme a l'idée de créer une automobile mue par sa machine, aussi grosse que l'on veut, et qui atteindrait la même vitesse que les chevaux. Ainsi,

si cette machine réussissoit, à faire aller [...] les grosses voitures de l'armée, elle épargneroit toutes les campagnes une grosse dépense au Roy. elle pourroit éviter au roi une grosse dépense s'il l'utilisait pour faire aller les grosses voitures de l'armée. L'armée n'auroit pas besoin de tant de fourage, n'étant nécessaire d'en avoir po[ur] les grosses voitures et les chevaux serviroient à monter la cavalerie et les dragons.¹⁷⁵

L'histoire ne dit pas, dans l'état actuel de notre recherche, si Dalesme réalisa une partie de son projet, pour lequel il a l'air si enthousiaste.

1.E.b.ii REDUIRE LA POWDRE A UNE FORCE MOUVANTE

Ces machines d'Amontons et de Dalesme sont contemporaines de celles de Savery et Newcomen en Angleterre, et de Papin également, dont il ne sera pas question ici. On se bornera à noter après bien d'autres que la machine de Papin, assistant de Huygens, est une extension des recherches que ce dernier entreprit sur la force de la poudre à canon. En 1673 alors en France et membre de l'Académie, il tentera avec l'aide Papin de réduire la force explosive du salpêtre à la continuité, et de l'appliquer au levage des fardeaux et à l'élévation

¹⁷⁴ *PVARS*: 24, 1705, 280 v°.

¹⁷⁵ *Ibid.*

des eaux.¹⁷⁶ Si le principe qu'il utilise est simple, l'explosion de la poudre chasse l'air d'un piston dont la partie mobile va alors être poussée par l'atmosphère, la réalisation, elle, est parsemée d'embuches. La machine n'est publiée par l'Académie que 20 ans plus tard en 1693¹⁷⁷, sur la base d'une lettre du 26 août 1673¹⁷⁸ adressée à l'institution, mais son travail commence dès décembre 1672¹⁷⁹. Il présentera sa machine aux académiciens d'abord, puis à Colbert lui-même, chez qui sa machine élèvera quatre à cinq laquais facilement.¹⁸⁰ C'est sous le signe de la substitution et de l'économie qu'est placé ce travail, dans une optique qui rappelle Amontons :

“On voioit que si cette impetuositè trop prompte pouvoit estre moderee et reduite a une force plus traitable, elle deviendroit utile dans tout le reste de la mechainique, et serviroit en bien des occasions ou l'on employe maintenant la force des hommes, des chevaux, du vent et des autres puissances que nous avons.”¹⁸¹

Mais pourquoi substituer la force des hommes, des chevaux et des autres puissances ?

“Pour avoir tousjours a son commandement un agent tres puissant et qui ne couste rien a entretenir, comme font les chevaux ou les hommes”¹⁸².

Concrètement, à quoi va-t-on pouvoir utiliser cette nouvelle force?

“[...] elle peut servir non seulement a tous les usages ou le poids est employè, mais aussi a la plus part de ceux ou l'on se sert de la force d'hommes ou d'animaux, de sorte qu'on pourra l'appliquer a monter des grosses pierres pour les bastimens, a dresser des obelisques, a monter des eaux pour les fontaines, a faire aller des moulins pour moudre du bled en des lieux ou l'on n'a pas la commoditè ou assez de place pour se servir de chevaux.”¹⁸³

En outre, on économise beaucoup puisque :

“[...] ce moteur a cela de bon qu'il ne couste rien a entretenir pendant le temps qu'on ne l'employe point.”¹⁸⁴

Des applications militaires sont aussi possibles :

¹⁷⁶ *Textes traitant de cette machine à poudre* : KLEMM, FRIEDRICH, *A history of Western technology Trad. par SINGER, D. W. ("Technik: eine Geschichte ihrer Probleme")*, London, G. Allen and Unwin, 1959. Un bref commentaire dans : NEEDHAM, JOSEPH, *Science and civilisation in China*, Cambridge, Cambridge University Press, 1954-: 5, part. 4, 547. Voir aussi ARIOTTI PIERO E., "Christiaan Huygens : Aviation pioneer extraordinary", *Annals of Science*, 36, n° 6 novembre 1979, 1979, pp 611-624. Et REDONDI, PIETRO, *L'accueil des idées de Sadi Carnot et la technologie française de 1820 à 1860*, Paris, Vrin, 1978: 30 sq.

¹⁷⁷ HUYGENS, CHRISTIAAN, "Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air", in SCIENCES, A. R. D. (ed.), *Divers ouvrages de mathématique et de physique par messieurs de l'academie royale des sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1693, 320-321.

¹⁷⁸ HUYGENS, OCH: 22, 248-250. Le 22 septembre 1673, il donne la même description de son nouveau moteur dans une lettre à Lodewijk Huygens, son frère (tome 7 des *Œuvres complètes*, p. 356).

¹⁷⁹ Huygens dit dans une lettre du 10 février 1673 qu'il travaille depuis 3 mois à ce problème (*Œuvres complètes*, tome 22, p. 241).

¹⁸⁰ Lettre à son frère du 22 septembre 1673 (*Œuvres complètes*, 7, 356) & lettre de Huygens du 24 mai 1686 (*Œuvres complètes*, 9, 78-79).

¹⁸¹ HUYGENS, OCH: 22, 48-49.

¹⁸² *Ibid.*: 22, 240.

¹⁸³ *Ibid.*: 22, 241.

¹⁸⁴ *Ibid.*

“L'on s'en peut encore servir comme d'un tres puissant ressort, en sorte qu'on pourroit construire par ce moyen des machines qui jeteroient des boulets de canon, de grandes flesches et des bombes peut estre avec une aussi grande force qu'est celle du canon et des mortiers. Mesme selon mon calcul avec espargne d'une grande partie de la poudre qu'on employe maintenant.”¹⁸⁵

On voit à l'évidence la raison d'être économique d'une telle recherche, tout comme de toutes celles au cœur desquelles est placée une problématique de substitution. Mais comment fonctionnerait le principe du mouvement ?

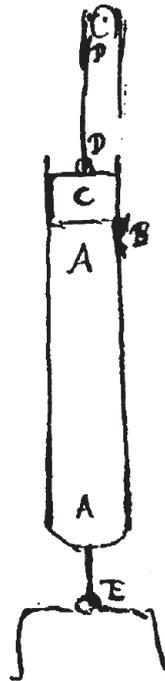


Figure 10 : Principe de fonctionnement de la machine à poudre de Huygens (*Œuvres complètes*, 22, 242)

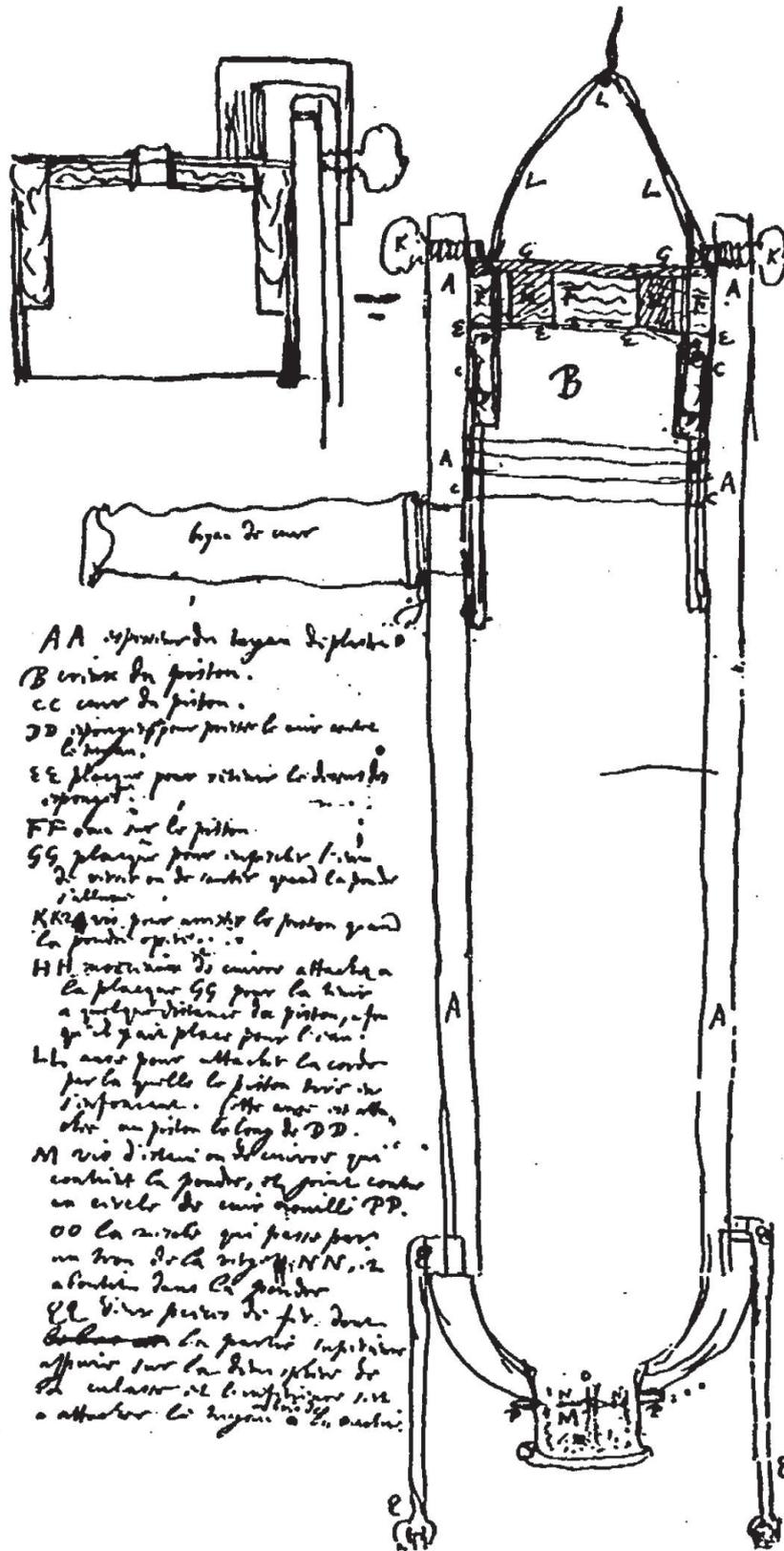
L'invention consiste a faire sortir l'air d'un tuyau cylindrique comme AA, en y allumant dedans quelque peu de poudre a canon. pendant que le piston C bouche l'entree du cylindre qui de l'autre bout est fermè. L'air estant sorti par un trou qu'on fait quelque part dans le cylindre et qui se doit refermer aussi tost, le piston est pressè par le poids de l'air de dehors avec grande force, et par le moyen de la corde DD qui y est attachee il fait mouvoir ce a quoy on l'applique. Le bas du cylindre s'attache aussi a quelque chose de stable pour n'estre pas enlevè par l'air qui presse par dessous.

[...]

Si la flame de la poudre pouvoit chasser tout l'air du cylindre, la force du piston a descendre s'egaleroit a la pression d'un cylindre de vif argent de mesme g[rosseur] et de 27½ pouces de haut. Mais elle y laisse tousjours e[nviron] 1/6 de l'air. ce qui fait que la force d'abord [n'est] que de 5/6 de ce qu'elle seroit. et qu'en suite elle diminue par de certains degrez qui sont aisez a determiner par le calcul et que l'on peut reduire a une force tousjours egale par le moyen d'une fusee comme dans les horloges.¹⁸⁶

¹⁸⁵ *Ibid.*

¹⁸⁶ *Ibid.*: 22, 242.



AA supports du boya de plaque
 B tete du piston.
 CC corps du piston.
 DD sponges pour passer le cuir entre
 le boya.
 EE plaque pour serrer le boya
 sponges.
 FF tige sur le piston.
 GG plaque pour serrer le boya
 de cuir en de l'autre quand la poudre
 s'illumine.
 HH pieces de cuivre attache a
 la plaque GG pour la tenir
 a quelque distance du piston, afin
 qu'il y ait place pour l'air.
 LL arcs pour attacher la corde
 par laquelle le piston tire en
 s'informant. Elle est attachee
 au piston le long de DD.
 M vis d'acier ou de cuivre qui
 contient la poudre, et joint contre
 un cercle de cuir nouille PP.
 OO la vis qui presse pour
 un trou de la vis NN, et
 s'entend dans la poudre.
 LL vis perces de fer pour
 serrer le boya de cuir.
 Elles sont la partie inferieure
 appuie sur la partie inferieure
 de la vis NN et l'empêche de
 s'attacher au boya de cuir.

Figure 11 : Schéma explicatif de la machine à poudre de Huygens (*Œuvres complètes*, 22, 242)

L'avantage, également, est d'associer la légèreté à la "force". Inutile de se munir d'un encombrant moulin à vent ou à eau. La machine à poudre est transportable, légère et puissante et ainsi "donne lieu à inventer par ce moyen de nouvelles sortes de voitures tant par eau que par terre."¹⁸⁷

C'est dans ce cadre qu'il va être naturellement conduit à donner une estimation de l'effet de sa machine. Par projection d'après ses expériences faites en petit, il trouve par un calcul fondé sur ces dernières "qu'une livre de poudre fournira de la force pour faire monter 3000 livres de poids à la hauteur pour le moins de 30 pieds, d'où l'on peut estimer en quelque façon l'effet de ce nouveau moteur que je crois être plus grand que celui que peut produire la poudre dans l'usage ordinaire."¹⁸⁸

Il se fait plus précis quelques mois plus tard, dans sa lettre à l'Académie du 26 août 1673. Raisonnant sur la pression de l'air qui pèse sur le piston, il énonce :

La quantité de cette pression est connue et déterminée par la pesanteur de l'air et par la quantité du diamètre du piston qui étant d'un pied sera poussé autant que s'il portoit le poids d'environ 1800 livres, supposé que le cylindre fut tout à fait vuide d'air. Mais c'est ce que jusqu'icy je n'ay sceu effectuer, et mesmes les expériences, en grand et en petit, n'ont pas réussi en ce point de la mesme façon.¹⁸⁹

¹⁸⁷ Ibid.: 22, 241. Huygens va même jusqu'à espérer de pouvoir construire une machine volante par ce moyen, même s'il avoue "qu'il faudroit encore bien de la science et de l'invention pour venir à bout d'une telle entreprise" (Ibid.) Huygens donne force précisions sur la réalisation de sa machine, qu'il n'a fait alors qu'en petit, depuis le choix du piston à la mèche enflammant la poudre, en passant par la soupape, l'eau nécessaire de mettre sur le piston, la vis d'étain contenant la poudre, la plaque pour empêcher l'eau de verser quand la poudre s'enflamme, etc.

¹⁸⁸ Ibid.: 22, 241-242

¹⁸⁹ Ibid.: 22, 250 En effet, précise-t-il, il est beaucoup plus difficile dans un grand cylindre de vider la même proportion d'air que dans un petit. Non seulement la quantité d'air vidée n'est pas proportionnelle au volume, mais elle n'est pas non plus simplement proportionnelle à la longueur ou la largeur prises indépendamment. "C'est pourquoi il faudroit essayer quelle proportion entre la grosseur et la hauteur du cylindre est la meilleure dans cette machine pour faire le plus de vuide avec le moins de poudre." (HUYGENS, OCH: 22, 250). C'est un procédé par tâtonnement que propose ici Huygens.

A l'avant-veille de la Noël 1673, il est toujours sur cette affaire et se rend compte qu'un aspect technique le bloque : la largeur du cylindre de métal n'est pas égale partout. Huygens se désespère :

"[...] si tout estoit bien construit et le piston avec de la filasse, et les boyaux en sorte qu'il n'entrast point d'air par la, l'invention réussiroit apparemment en grand comme en petit. Mais il seroit assez difficile de faire un cylindre de métal d'égale largeur par tout, et bien uni." (HUYGENS, OCH: 22, 251).

Pourtant il n'abandonnera pas l'idée de sitôt : en août 1678, un autre manuscrit montre qu'il pense toujours aux applications de sa machine, en l'occurrence pour élever de l'eau (Figure 12). Disposant la poudre non plus dans un canon, mais dans un "lieu voûté", duquel sortirait un tuyau baignant dans l'eau, cette dernière pourrait être élevée de 31 pieds si l'on réussissait à obtenir un vide d'air total, ou de 20 à 25 s'il en subsistait une partie. Une difficulté cependant : empêcher que la brusque irruption de l'eau ne provoque de la vapeur d'eau. En outre, il faut un lieu beaucoup plus grand que la quantité d'eau qu'on envisage d'élever. "Cette eau par sa cheute pourroit en élever d'autres ; ou servira à des mouvements qu'on voudroit." (HUYGENS, OCH: 22, 256).

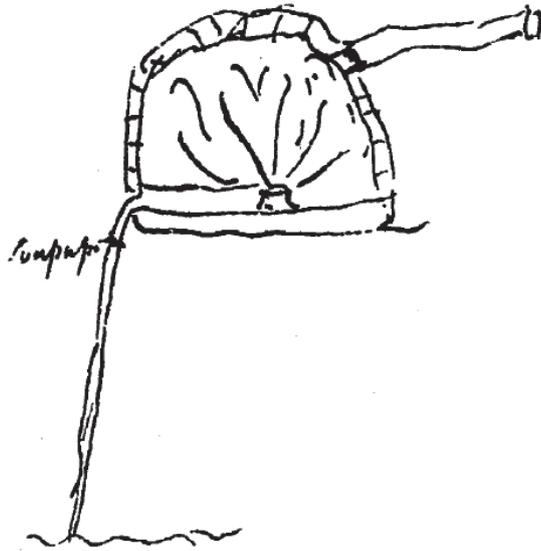


Figure 12 : Idée d'une machine à élever l'eau par la force de la poudre de Huygens en 1678 (*Œuvres complètes*, 22, 256). On peut lire le mot souple sur la figure.

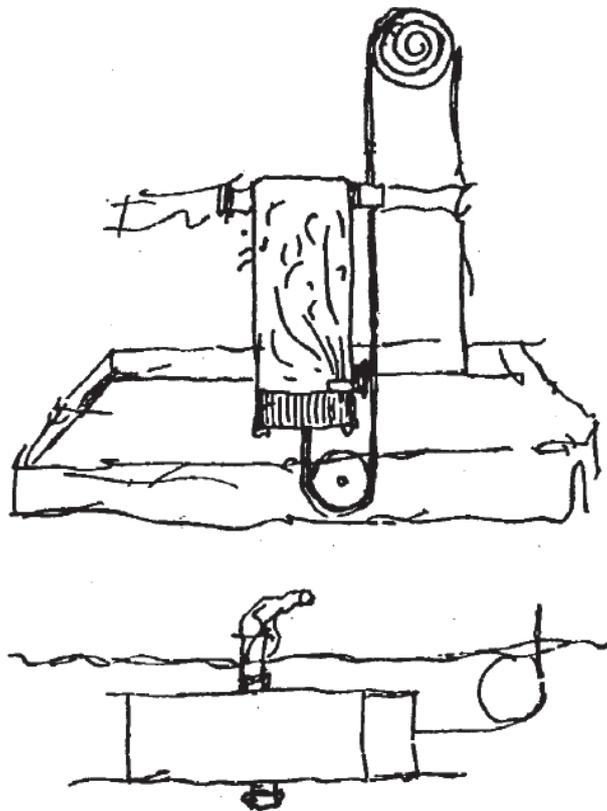


Figure 13 : Deux représentations de machines à poudre pour élever des fardeaux (*Œuvres complètes*, 22, 256)

L'idée ingénieuse restera longtemps dans l'esprit de son inventeur, et sera reprise par d'autres, notamment Papin, dont un article paru dans les *Nouvelles de la république des lettres* du mois de septembre 1688 attirera l'attention du landgrave de Hesse¹⁹⁰. En 1686, on le sollicite encore pour donner son avis sur l'idée d'une machine à poudre.¹⁹¹ Toujours intéressé, Huygens cite cependant un autre obstacle de taille : la difficulté qu'il y a à obtenir de la régularité d'une pareille machine. Demandant constamment à ce qu'un homme s'occupe de mettre la poudre dans la culasse et de l'enflammer, cette machine ne peut produire qu'un mouvement discontinu. Ses usages sont alors nécessairement limités. Ce n'est pas le moteur inventé par Amontons en 1699, dont la source continue permet un mouvement circulaire ininterrompu, et peut servir à tous les usages imaginables. Amontons, bien mieux que Huygens, bien que mieux que Papin et n'importe qui à son époque, parvient à conceptualiser un véritable *moteur*, c'est-à-dire un dispositif fournissant en tout lieu et en toute circonstance une énergie, adaptable à tous les types d'effets qu'on voudrait obtenir.

Si l'on doit bien à Huygens la première conception substantielle de l'air comme force mouvante, il existe une différence fondamentale par rapport aux développements du 19^e s., et même par rapport au moulin d'Amontons. Dans l'esprit de Huygens, le véritable moteur est externe : l'air atmosphérique fait le travail, en comblant la raréfaction induite par la détonation de la poudre. Tandis que chez Amontons et d'autres, le moteur est interne : il s'agira d'utiliser l'expansion d'un gaz, l'air ou la vapeur d'eau.

L'idée de Huygens est cependant intéressante, non seulement du fait qu'il invente un moteur, mais en outre parce que l'on voit dans cette machine un fait que l'on retrouvera également chez Amontons : il existe un coût pour la production de l'effet, coût économique certes, la dépense de la poudre, mais coût au sens mécanique, l'expansion de la poudre. Mais la comparaison avec Amontons s'arrête là. Car chez ce dernier, le cycle est fermé, pour ainsi, tandis qu'il est ouvert chez Huygens : Huygens n'a pas l'idée d'un processus cyclique.

En outre, la dépense mécanique ne peut pas être mise en rapport avec l'effet. Les deux sont incommensurables. On verra que chez Amontons, il n'existera plus de différence entre effet et cause, donnant là l'idée implicite d'une commensurabilité, puis que chez Parent entrée et sortie seront explicitement commensurables, ouvrant la voie à une interprétation de la machine en termes de rendement.

¹⁹⁰ HUYGENS, OCH: 9, 79.

¹⁹¹ *Ibid.*

Au début du 18^e siècle à l'Académie, la poudre fera encore l'objet de recherches mais dans son champ d'origine : la destruction. Amontons encore¹⁹², La Hire¹⁹³, et François Chevallier,¹⁹⁴ formé par Vauban et neveu par alliance de Joseph Sauveur, donneront des contributions.

Il faut attendre 1726 pour revoir apparaître explicitement à l'académie des machines à feu. Mey et Meyer d'un côté, puis De Bosfrand de l'autre inventent respectivement une et deux machines, basées également sur la dilatation de l'eau par le feu, et le poids de l'atmosphère.¹⁹⁵ Elles ne restent pas de simples idées, et sont construites (la première à Passy, notamment). Ces machines ne sont pas des moteurs au sens d'Amontons : elles sont destinées à un effet particulier : élever l'eau des mines.

Intéressons-nous à présent à cette substitution particulière entre organismes, notamment les hommes et les chevaux.

1.E.c. LES MESURES DE LA FORCE ET DU TRAVAIL DES CHEVAUX ET DES HOMMES

On l'a vu, ce type de substitution des forces organiques entre elles est proposé par nombre de machinistes dans leurs inventions. Pour pouvoir juger de la faisabilité de celles-ci, les académiciens vont s'adonner à l'entre deux siècles, à des mesures de la force et du travail des hommes et des chevaux (Sauveur & Sébastien), à des recherches sur la force de chaque groupe musculaire (La Hire), et enfin à la force des hommes pour remonter les bateaux (Dalesme), Voyons comment.

¹⁹² Amontons lui-même étudiera en 1702 une nouvelle manière d'éprouver la bonté de la poudre par rapport à sa facilité à s'enflammer (PV ARS: 21, 1702, 437 r°), puis en 1703 une nouvelle poudre faite par un particulier, qu'il testera et approuvera en ce qu'elle est meilleure que les autres et qu'elle s'humecte moins à l'air (PV ARS: 22, 1703 Séance du 23 août).

¹⁹³ La Hire la même année lit quelques remarques tirées de Tartaglia sur la manière dont on employait anciennement la poudre (PV ARS: 22, 1703, 45 r°).

¹⁹⁴ Nous utilisons l'orthographe de l'Index Biographique de l'Académie des Sciences (INSTITUT DE FRANCE, Index Biographique de l'Académie des Sciences, 1666-1978, Paris, Gauthier-Villars, 1979). Il faut attendre 1707 pour voir une étude d'envergure apparaître, réalisée par François Chevallier (CHEVALLIER, FRANÇOIS, "Des effets de la poudre à canon. Principalement dans les mines." HMARS, 1707, M, 526-538). Il s'agit bien sûr ici de mines explosives, et non d'excavations souterraines. Chevallier a été formé à la fortification par Vauban lui-même qui lui a confié en outre les examens d'entrée du département des fortifications dès sa création en juillet 1691 (cf. VIROL, MICHELE, Vauban : de la gloire du Roi au service de l'État, Paris, Champ-Vallon, 2003: 32) Sauveur prend la relève en 1702. C'est de papiers de Vauban qu'il tire les informations servant à son article des Mémoires de l'Académie. Celui-ci n'est pas entièrement délié de notre sujet. En effet, la poudre à canon va servir ici à mouvoir la terre, qui plus est par la force de l'air expansé, et dont l'effet va être évalué par Chevallier, et bien logiquement, en termes de masses de terre déplacées.

¹⁹⁵ Machines: 4, 185-202.

On trouve dans la pochette de séance de l'Académie pour 1714, une partie du plumitif de la séance du 18 août, dans laquelle Joseph Sauveur lit à l'assemblée un mémoire de Jean Truchet (alias le Père Sébastien) relatant des expériences faites par lui en 1694 au sujet de la "force naturelle" des hommes et des chevaux (mis en annexe). Le papier est daté du 29 juillet 1714, de Marly, et a pour but d'appuyer le mémoire que Sauveur présente lors de la même séance (18 août) intitulé "Remarques sur les démonstrations des flèches de bois"¹⁹⁶. Ces expériences sont très semblables à celles de 1668, dont nous avons déjà parlé, et ont été faites par au moins deux personnages, Sauveur et le père Sébastien. Ce dernier disposa une poulie au dessus d'un puits, en prenant garde à ce que le frottement soit le moindre qui se puisse. Cette poulie était reliée à l'une de ses extrémités à un sac de toile pouvant contenir des boulets de canon, que le hasard avait mis entre leurs mains. A l'autre extrémité, une sangle pour pouvoir tirer le ou les boulets tout en marchant. Sébastien donne tous les détails de dimension des cordages et autres. Dans une première expérience, ils concluent que *"le boulet de 24 et le sac mouillé estant tiré sans effort par tous ceux qui se presenterent, faisant environ un poid de 25 livres, pouvoit esttre estimé la force d'un homme ordinaire."* Attachant ensuite à la sangle un "cheval de chaise" de Sauveur, il parvienne à déterminer que *"7 hommes tirent le même poid qu'un cheval et avec la meme facilité qu'un homme seul tire celui de 25 livres. Six hommes choisis ont tiré le poid que nous donnons a un cheval, mais il [sic] ne pouvoient pas agir longtems"*

Conclusions :

1. *"Dans l'examen que l'on fait des machines ou l'on employe la force des hommes il ne faut jamais estimer leur force qu'a 25 li<vres> au plus, encore faut il bien desduire les frotemens qui se trouvent dans la composition de la machine."*
2. *"quand on employe des chevaux pour moteurs il ne faut estimer leurs efforts que 175 livres au plus les frotemens , pesanteur,¹⁹⁷ [...] deduits."*
3. *"toutes les machines ou les efforts sont egaux et continus fatiguent beaucoup les hommes, il ne faut dans ces cas la leur donner qu'environ 15*

¹⁹⁶ PV ARS: 33, 1714, 321 r° sq.

¹⁹⁷ pesanteur, suivi d'un mot non lu.

livres pour faire qu'ils puissent continuer du tems. L'homme s'accomode mieux des mouvemens alternatifs."

Quelle différence par rapport à 1668 ? Celle-ci, assez considérable : les hommes et le cheval de Sauveur & Sébastien portent deux fois moins que ceux de 1668. 175 livres en 1694, contre 401 livres en 1668. Pourquoi ?

Premièrement, en 1668, on utilise un cheval accoutumé à tirer les bateaux, plus robuste que celui de 1694, simple cheval de chaise. Ensuite, Sauveur & Sébastien ont le souci de mesurer la force ordinaire des hommes et des animaux, la force destinée à être renouvelée fréquemment. En 1668, au vu des valeurs, il est probable que l'on ait cherché à déterminer la valeur de la force en situation de travail de force, celle qu'on utilisera pour utiliser un fort fardeau ponctuellement. On peut notamment le supposer au vu d'une remarque, qui est que le cheval a beaucoup de peine à élever les 401 livres. En 1668, on aurait donc déterminé quelle est la force de travail forcé, et en 1694, quelle est la force de travail ordinaire. Dans les deux cas, la proportion reste la même.

Sauveur & Sébastien précisent d'ailleurs dans le 3^e point de leur conclusion que si l'on veut faire accomplir à des hommes une action continue (au lieu que dans le cas de l'expérience de 1694, la distance parcourue à chaque remontée n'est que de "7 ou 8 pieds"), alors il ne faudra compter que sur un poids élevé de 15 livres, sans compter les frottements qui vont venir se rajouter. Si l'homme s'accorde mieux des mouvements alternatifs, c'est qu'il peut se reposer pendant un temps équivalent à son temps de travail. C'est bien ce travail régulier, continue, que Sauveur & Sébastien ont en tête, et qu'ils mesurent encore par le poids soutenu.

Mais la lecture des résultats dépend du point de vue. Lorsqu'Antoine Parent les utilisera dans un mémoire de 1714 sur le plus grand effet des machines mues par des animaux, il complètera ces données :

Cet effort est, par exemple, pour un cheval moyennem[en]t fort, de tirer 170 # l. d'un puis par-dessus une poulie avec une vitesse de 1800 toises au plus par heure, et pour un homme de tirer au plus 24# l., en faisant environ 1000 toises par chaque heure, selon les expériences qui en ont été faites par Mr. Sauveur et le P. Sébastien carme avec toute l'exactitude nécessaire.¹⁹⁸

Il s'agit sans nul doute des mêmes expériences au vu des auteurs et de la description. Parent a alors demandé des informations complémentaires au père Sébastien et celui en qui il

¹⁹⁸ *PVARS: 33, 1714, 234 r^o.*

reconnaît son maître, Sauveur, car précisément il ne lui suffisait pas de connaître la valeur du poids soutenu durant le travail, et il voulait introduire explicitement la vitesse des agents dans son calcul (cf. *infra*).

1.E.c.ii L'EXAMEN DE LA FORCE DES HOMMES PAR LA HIRE EN 1699 : FORCE EXPLOSIVE PLUTOT QUE FORCE DE TRAVAIL

Le titre de la pièce met en avant, encore une fois, une problématique de substitution : *Examen de la force de l'homme, pour mouvoir les fardeaux, tant en levant qu'en portant & en tirant, laquelle est considérée absolument & par comparaison à celle des animaux qui portent & qui tirent, comme les chevaux* (HMARS : 1699, M, 153). Ce travail est une recherche empirique sur les différents poids que peuvent soutenir des hommes et des animaux dans diverses situations, dont des situations de travail. Nous pouvons voir ici que La Hire, trois ans avant le précédent mémoire, est dans une même optique de détermination de l'effet par le poids soutenu. Cette étude n'est pas simplement de curiosité : elle doit servir par la connaissance qu'elle apporte de ces différentes situations, de pouvoir calculer l'effort appliqué par les forces mouvantes animées, et à partir de là, calculer la répartition des forces dans les machines. C'est du moins ainsi que nous le comprenons.

Par ailleurs l'étude est aussi tenante d'une conceptualisation mécanique du corps. On détermine la force des muscles pour ensuite pouvoir prévoir par jeu de levier appliqué sur différents objets quelle application de la force il en résultera.

Daté du samedi 14 novembre 1699, le mémoire suppose un homme moyen pesant 140 livres. En voici les premiers résultats :

<i>Expériences</i>	<i>Muscles concernés</i>	<i>Poids soutenu</i>
<i>Un homme se relevant, ayant initialement les deux genoux à terre</i>	<i>Jambes et cuisses</i>	140 livres
<i>Un homme dans la même position se relevant chargé d'un poids de 150 livres environ</i>	<i>Jambes et cuisses</i>	290 livres lorsque l'élévation n'est que de 2 ou 3 pouces
<i>Un homme levant un poids de 100 livres placé entre ses jambes, en se penchant et se relevant</i>	<i>Lombes</i>	170 livres
<i>Un homme montant à la corde</i>	<i>Bras</i>	160 livres

Un homme portant un fardeau de 150 livres sur ses épaules et marchant horizontalement à petites enjambées	Epaules	150 livres
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------	------------

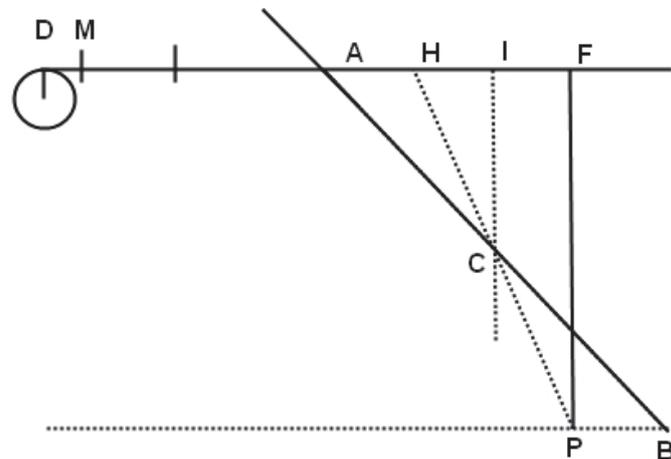


Figure 14 : Assimilation du corps humain à un levier dans le mémoire de 1699 de La Hire.

Ces valeurs sont des charges maximales, c'est-à-dire des efforts réalisables uniquement pendant des périodes relativement courtes. Il ajoute que les forces des différents muscles ne sont pas cumulatives : on ne saurait utiliser deux groupes musculaires aux valeurs susmentionnées en même temps, à cause des esprits animaux qui agissent en raccourcissant et en tirant les tendons. Car en somme, la même quantité d'esprits animaux coule dans les veines d'un homme qu'il utilise un groupe musculaire, ou deux. Dès lors, la force d'un muscle est limitée quand un autre agit.

La Hire s'intéresse ensuite aux hommes manipulant des manivelles (Figure 14). Assimilant un être humain à un levier tel que le point fixe soit les pieds P, il considère que le poids de l'homme est concentré en C, point de gravité du corps. La nuque est en A, les bras sont représentés par AM, la main par MD. PC est la partie du levier correspondant à la direction du corps sous le point de gravité. En appuyant ainsi sur la manivelle D, l'homme ne fait que profiter de la disposition de son corps. Par des considérations élémentaires de statique, il détermine, considérant $BC = BA/3$ et l'angle $PAB = 70^\circ$, que si C est chargé de 140 livres, il en résultera un appui en D de 27 livres seulement. Ceci lui sert pour tous les cas où l'homme doit pousser un objet tout en marchant.

Il en conclut également la meilleure disposition d'un homme à tirer lorsqu'il a le corps en arrière, en ajoutant toutefois que cette disposition ne peut guère advenir que lorsqu'on tire

une corde en restant statique. Dans tous les autres cas, il est également nécessaire de marcher, ce qui ne peut être que très difficile ainsi.

Enfin, au sujet de la force des chevaux, il se contente de faire référence à “l’expérience commune” selon laquelle un cheval tire horizontalement comme 7 hommes, soit “un peu moins de 200 [livres]” (HMARS : 1699, M, 161). Il ne peut en effet comparer la force des humains et des chevaux, dit-il, car leur force ne dépend pas principalement, à la différence des hommes, de leur pesanteur mais presque uniquement de leurs muscles.

Ce mémoire est plutôt décevant en ce qui concerne le travail. La Hire passe en effet son temps à mesurer des efforts maximums : ce qui est mesuré sont des charges maximales. La Hire prend ici le mot de force au sens commun lorsqu’on se demande lequel d’entre deux hommes est le plus fort. Il s’agit de force explosive, si l’on veut, mais pas de force de travail. La connaissance de ces forces ne peut être utile que pour faire le calcul d’efforts brefs et intenses, ou pour déterminer un maximum physiologique que la machine humaine ne doit pas dépasser.

En outre La Hire prend ici un cas moyen. On suppose, car La Hire n’en dit rien, que ses expériences sont issues d’une série d’observations sur plusieurs hommes, et qu’il en fait la moyenne. Ce qui est certain, en tout cas, c’est qu’il n’a pas expérimenté lui-même, puisque dans l’expérience de la remontée de corde, il dira en 1702 (comme on l’a vu précédemment), qu’il n’y réussit pas. Ici, en 1699, il dit au contraire que l’homme a monté facilement la corde, avec 20 livres de plus que son poids. Il est évident que La Hire a fait appel ici à des hommes faisant régulièrement des exercices physiques.

Enfin, tout comme en 1702, La Hire ne fait qu’utiliser le modèle de la balance et ne conçoit l’effet, même bref comme ici, que comme un poids soutenu.

1.E.c.iii DALESME : FORCE ET FATIGUE DES HOMMES POUR REMONTER LES BATEAUX (1706)

Dalesme, notre poëlier-fumiste, s’intéresse aussi à la force des hommes. Il propose en 1706 un petit mémoire sur la force des hommes qui remontent des bateaux, dans lequel il présente deux manières d’utiliser la force, l’ordinaire et une nouvelle. Ce sont des expériences qualitatives qu’il dit avoir effectué avec un seul homme mais un bon nombre de fois. La première manière de remonter un bateau contre le courant pour un homme est simplement d’attacher une corde au bateau, et posant cette corde sur une épaule, de tirer. L’autre manière expérimentée par Dalesme est de rattacher une autre corde à un point fixe situé plus en avant

de l'homme. L'homme, en disposant la première corde, qu'il utilise toujours, de sorte à se libérer les bras, tire alors avec ses bras sur cette deuxième corde. L'homme donne alors l'impression de doubler son effort, dit Dalesme :

Des le moment qu'il la prenoit avec les mains et qu'il tiroit dessus et qu'il ajoutoit par ce moyen le mouvem[en]t et la force des bras au mouvem[en]t et la force des jambes : il alloit d'une bien plus grande vitesse et avec moins de peine, il alloit environ co[mm]e s'ils eussent été deux à remonter le bateau. Quand il la quittoit la corde il alloit bien plus lentem[en]t et avoit de la peine environ co[mm]e s'il en eût remonté deux. (PV 1706 61 v°)

On ne sait pas cependant, ajoute-t-il, si dans cette seconde disposition, l'homme ne sera pas fatigué plus vite. Il se peut qu'un homme seul en se servant de la deuxième corde soit plus vite fatigué que deux hommes se servant de la méthode ordinaire pour la même résistance. Certes, dit Dalesme, mais quand l'homme aura de la peine à tirer le bateau, il pourra aller plus vite et plus facilement avec la seconde corde.

Il argumente alors que les forgerons qui utilisent leurs deux bras feront deux fois l'effet d'un forgeron ne travaillant¹⁹⁹ qu'avec une main, sans pour cela être plus fatigués. Ainsi,

si dans les travaux ordinaires le mouvement et la force d'un bras ajouté au mouvement et à la force d'un autre bras augmente la force et l'effet sans pour cela augmenter la fatigue, pourquoi le mouvement et la force des bras ajouté au mouvement et à la force des jambes des hommes, qui remontent un bateau, n'augmentera pas la force et l'effet, sans pour cela augmenter la fatigue ? (62 r°)

S'ensuit une proposition pour que cette méthode soit employé à Rochefort (pas loin de l'île d'Oléron) où l'on amène les vaisseaux du Roi du port à l'île d'Aix. Il se propose d'utiliser les grandes quantités de vieux cordages destinés à l'étoupe pour ce faire, dans les endroits particulièrement difficiles et propose au comte de Pontchartrain de faire lui-même l'expérience lors de son prochain voyage à Brest.

Ce petit mémoire n'a aucune prétention théorique. Il est fait par un homme de terrain, Dalesme qui cherche simplement à faciliter l'ouvrage des hommes de peine. Mais sous ses airs apparemment naïfs, il est autrement plus intéressant que le mémoire de La Hire de 1699 en ce qui concerne notre propos. Dalesme conçoit en effet clairement que l'effet dépend de deux paramètres que sont "le mouvement et la force", autrement dit le chemin parcouru et le poids déplacé. En outre il différencie nettement l'effet, de la force, ainsi que de la fatigue. La brièveté du mémoire empêche d'analyser les choses au-delà de ces constats.

¹⁹⁹ C'est Dalesme qui emploie le mot.

Il faut remarquer cependant que ce mémoire fait suite à un autre de 1705, intitulé “*Augmenter la force des hômes qui trainent après un fardeau en marchant*” où l’auteur cite l’intérêt d’Amontons pour sa proposition :

“un des principaux moyens de faire dans les machines plus qu’à l’ordinaire. Est d’employer la force qui n’est pas employée pour cet effet, j’ay songé d’ajouter le mouvem[en]t et la force des bras au mouvem[en]t et à la force des jambes des hômes, qui marchent et trainent après eux un traineau, chariot ou autre fardeau, en attachant une corde par un bout du côté qu’ils veulent aller pour les faire fixer sur cette corde avec les mains : et ainsi ajouter le mouvem[en]t et la force des bras au mouvem[en]t et à la force des hômes qui marchent, et par ce moyen avoir le double de force.

Défunt Mr Amontons, après avoir vû mon expérience, voulut savoir quelle difference il y auroit entre la force des bras et celle des jambes dans cette occasion ; par l’expérience qu’il a fait, il a trouvé que si un hôme tiroit en marchand [sic] 24#, par exemple y ajoutant la force des mains en les faisant tirer sur la simple corde sans poulie, les mains ajoutoient la force de 28# en sorte que toute la force des bras et des jambes jointe ensemble tiroit 52 # au lieu de 24 # en marchand sans tirer avec les mains.”²⁰⁰

Faisant référence au mémoire de La Hire de 1702 (cf. *infra*), il propose alors d’appliquer une poulie de la même manière que celle décrite par son confrère, mais il note que l’expérience lahirienne “*n’ajoute pas le mouveme[en]t et la force des bras au mouveme[en]t et à la force des jambes.*”²⁰¹

1.E.d. CONCLUSION

On l’a dit, cette problématique de substitution n’est pas nouvelle. Nous voulions souligner la dimension croissante de cette problématique, mais surtout le lieu intellectuel et physique dans lequel elle prend place, celui de l’Académie, où se voit conjuguer des préoccupations d’ingénieurs et les compétences des savants théoriciens.

La substitution s’impose à l’esprit des académiciens notamment mécaniciens, soit par leur fonction mêmes d’expert désignés par le gouvernement pour juger des machines, soit par des intérêts personnels constitutifs de leurs recherches. Elle devient en elle-même un objet scientifique, dont la résolution passe par un calcul d’effet unique, applicable à toutes les machines, et aux animaux.

Les préoccupations économiques ont toute leur place. La destination même de la démarche implique que l’on explicite, à ceux à qui on destine la machine, ce qu’ils vont pouvoir attendre comme effet et ce qu’ils vont pouvoir ainsi économiser. A une époque où la maximisation est un leitmotiv, on attend de la mécanique qu’elle mène à l’épargne et à

²⁰⁰ *PVARS*: 24, 1705, 374 v°- 375 r°.

²⁰¹ *Ibid.*: 24, 1705, 375 v°.

l'économie. Cette demande se manifeste par toutes les machines et inventions que nous avons vues. Le problème, dès lors, est de savoir ce qu'on mesure.

Nous n'avons pas relaté dans ce paragraphe de calcul d'effet, pour ne pas alourdir le discours et dans un souci de présentation. Néanmoins il ne faudrait pas croire que les personnages en question ne s'en préoccupent pas, bien au contraire. Très souvent, notamment chez les académiciens bien plus que chez les simples inventeurs, des calculs des effets des machines sont donnés.

Nous allons voir dans le paragraphe suivant que la mesure de l'effet est encore en définition. Si le produit d'un poids par une vitesse est fréquemment utilisé, il ne recouvre pas encore forcément une idée de travail, et les académiciens sont à la recherche d'un indicateur pertinent et surtout unique. Dans ce cadre, la particularité de chaque machine et de ce pour quoi on l'emploie, pose obstacle à une définition de l'effet unique, qui ne réussira à s'imposer que progressivement, à partir du moment où les machines commenceront à être interprétées sous le prisme de la production et du travail.

Nous allons en voir un exemple avec les galères, qu'on commence tout juste à considérer comme des machines, et dont l'effet est d'abord simplement traduit comme une vitesse.

1.F. A LA RECHERCHE DE LA MACHINE EFFICACE : LE CALCUL DE L'EFFET

A la fin du 17^e s. et au début du 18^e s., beaucoup des acteurs que nous avons rencontrés jusqu'ici conçoivent l'effet dans la tradition statique, c'est-à-dire comme un poids à soutenir, le poids que doivent soutenir les hommes et les chevaux dans les machines, notamment, en assimilant celles-ci à un levier ou un assemblage de leviers. Ils pensent ainsi déterminer le poids de travail soutenu par les hommes, les chevaux, ou la machine elle-même, à l'entrée ou à la sortie, en excluant les frottements.

Ainsi à propos de la machine pour scier des pierres de Du Quet vue plus haut²⁰², un calcul sur le mode de l'équilibre est réalisé. Si un cheval est appliqué, il exercera un effort de 175 livres, et il en résultera *“87 livres ½, effort qui paroît suffisant pour mouvoir les chassiss, & pour vaincre les autres frottements qui se rencontrent dans la machine.”*

²⁰² *Machines: 1, 110.*

A propos du cric circulaire de Thomas²⁰³, il est calculé qu'une force de 10 livres appliquée à la manivelle fera équilibre avec une résistance de 480. Pour un second, une puissance de 50 livres fera équilibre avec un poids de 360 livres, en faisant abstraction des frottements.

Pour une machine pour tirer les vaisseaux à terre, telle qu'elle est en usage à Brest, on obtient que 6 hommes ensemble, ayant chacun une puissance de 25 livres, et appliqués à une barre de cabestan, imprimeront une puissance de 15870 livres, soit pour l'ensemble de la machine, composée de quatre cabestans de six barres chacun, 380880 livres. Auquel il faut encore ajouter deux cabestans différents, soit 412620 livres. 216 hommes sont nécessaires pour faire mouvoir cette machine, bien réelle.

On voit aussi parfois apparaître la mention d'une vitesse dans le calcul des effets des machines ou des hommes, selon l'adage bien connu que l'on perd en temps ce que l'on gagne en force. Le produit d'un poids par une vitesse est alors mentionné. Les effets ainsi calculés sont des avatars de la réduction des machines composées aux machines simples et du calcul du moment dans celles-ci, où la vitesse est directement proportionnelle à la distance au point d'appui. Cette manière d'envisager l'effet est en fait une mise en équivalence entre les deux termes d'une application, que cette équivalence mette en jeu des poids, ou des moments (produit du poids par la distance au point de levier, ou par la vitesse-image de la distance). Il n'y a ni transmission, ni transformation de force en effet. On chercherait vainement des notions de force dépensée, d'effet produit, ou de force-pour-mouvoir.

Ainsi, mesurer un effet à cette époque n'est pas forcément synonyme de travail. C'est tout le problème de la mesure qui, d'après François Dagognet, consiste à "*substituer à un réel, ou bien inaccessible, ou bien déformé par notre appréhension sensorielle, un énoncé instrumentalisé et quantifié*"²⁰⁴. La mesure de l'effet n'est donc pas universelle, elle dépend de la conception qu'on en a.

En l'occurrence, la domination des représentations statiques joue un rôle primordial. Les effets des machines sont conceptualisés par réduction à l'équilibre, où les forces sont en duel, se détruisent ou se surmontent. Dans ce cadre, la familiarité de la notion de poids amène les académiciens à tenter de représenter toutes les forces mouvantes par une pression de type pondéral, grâce notamment au programme de recherche sur toutes les forces mouvantes lancé

²⁰³ *Ibid.*: 1, 209.

²⁰⁴ *ENTRETIENS DE LA VILLETTE, La mesure, Actes des 7es entretiens de la Villette, Paris, Centre national de documentation pédagogique, 1996: 263.*

dès 1668 à l'Académie. Ce programme mobilise les énergies et les représentations des académiciens.

Le sujet du présent paragraphe, les rames tournantes, en est un bon exemple. Non seulement car il donne à voir l'énergie développée pour réduire les effets des machines à une dimension pondérale et statique, et donc l'importance de cette représentation dans les esprits des académiciens, mais également parce qu'il met en lumière l'avancée considérable que constitue cette réduction par rapport à deux autres types de public, en l'occurrence les usagers, à savoir les officiers des galères, et les académiciens tel que Chazelles, que nous qualifierons d'expérimentateurs, à défaut d'un terme plus heureux. Les réactions de ces trois types de public sont d'autant plus intéressantes que les navires ne sont considérés comme des machines que depuis une époque récente, que J.-P. Sérís date du traité de 1689 *De la théorie de la manoeuvre des vaisseaux*, par le Chevalier Renau d'Eliçagaray, voire des considérations sur la manoeuvre de Pardies dans son ouvrage de 1673, *La statique ou la science des forces mouvantes*.²⁰⁵

Si chacun des trois publics en présence est mu par une idée de puissance et de maximisation, il est singulier de constater à quel point chacun est hermétique aux représentations des autres. Les officiers des galères ont ainsi une idée de la puissance qui passe par l'apparence et l'esthétique du navire : ils rejettent les rames tournantes pourtant plus rapides que les rames ordinaires au motif que le bâtiment prend une apparence laide et ridicule, incompatible avec la représentation du pouvoir louis-quatorzienne. Chazelles, chargé d'expertiser ces rames tournantes en 1706, s'étonne de leur réaction, surtout après qu'il ait expérimenté en situation la plus grande vitesse que confère cette nouvelle invention aux galères. Mais pour lui, l'effet du navire est entièrement donné par sa vitesse, qui dépend de géométrie des rames, tournantes, ou non : leur nombre, leur disposition, leur orientation. Et il reste parfaitement sourd à une technique calculatoire inventée par La Hire en 1702, et promise à un grand avenir, permettant de rapporter l'effet réalisé à une résistance ressentie par la carène et les pales des rames dans leur mouvement. Pour Chazelles, ce n'est là que pure curiosité et spéculation.

²⁰⁵ cf. SERIS, *Machine et communication*: 96-113 Sérís montre que désormais “*La théorie de la manoeuvre n’y est plus du tout conçue comme la codification d’un exercice par un ensemble d’instructions, mais comme la possibilité de déterminer par le calcul la conduite la plus efficace.*” (p. 96).

Le paradigme statique trouve ainsi à s'investir dans des solutions innovantes. Mais les représentations qu'il charrie seront un obstacle conséquent à une conceptualisation laborieuse des machines.

Voyons donc comment les rames tournantes illustrent ceci.

1.F.a. RAMES TOURNANTES ET GALERES SELON CHAZELLES

En 1702, Jean-Matthieu de Chazelles, le professeur d'hydrographie qui a parcouru le Levant et l'Égypte, fait quelques remarques sur une nouvelle invention de Du Guet (à ne pas confondre à Du Quet dont il a été question précédemment) : les rames tournantes. On en trouve la première mention dans l'histoire de 1699²⁰⁶, et elles seront publiées dans le recueil des Machines approuvées, tome 1.

Leur principe est le suivant (Figure 15): DD représente un bord du bateau, et le chassis GGHH, mobile, peut se déplacer latéralement sur la longueur du bateau. Associé à une manivelle au point M, son mouvement va faire tourner cette dernière, et consécutivement la rame, d'autant que le chassis de gauche a la même fonction. Ces rames tournantes sont donc des sortes d'aubes situées sur les côtés du navire. Elles prennent beaucoup moins de place que la quantité de rames habituellement utilisées sur les galères. Cependant, le texte présent dans le tome 1 des Machines est inhabituellement long pour ce recueil, et ne se contente pas d'en donner le principe. Il va en calculer l'effet. Des redites apparaissent, et on ne comprend guère pourquoi, si l'on s'en tient à ces textes seuls. Il faut lire les Mémoires et les PV pour comprendre que certains de ces textes sont des réponses de Chazelles à des attaques subies. Reconstituons la chronologie.

On apprend dans les PV de 1706 que ces rames ne sont pas si nouvelles, puisque des expériences ont été menées le 12 février 1693 à Marseille en présence de Mr le Bailly de Noailles, lieutenant général des Galères, Mr de Montmor Intendant, et un grand nombre d'officiers des galères. Ce simple fait montre l'évidente implication militaire de l'invention de Du Guet et l'intérêt qu'on lui porte alors. Ses rames vont être mises en concurrence avec rien moins que la galère *La Superbe*, l'un des plus beaux bâtiments de la flotte des 39 galères en service en 1693.²⁰⁷ Trois rames tournantes sont montées de chaque côté d'une galère remisee.

²⁰⁶ HMARS: 1699, H, 121.

²⁰⁷ ZYSBERG, ANDRE, *Les galériens, vies et destins de 60000 forçats sur les galères de France 1680-1748*, Paris, Seuil, 1987: annexe 2.

Rames tournantes

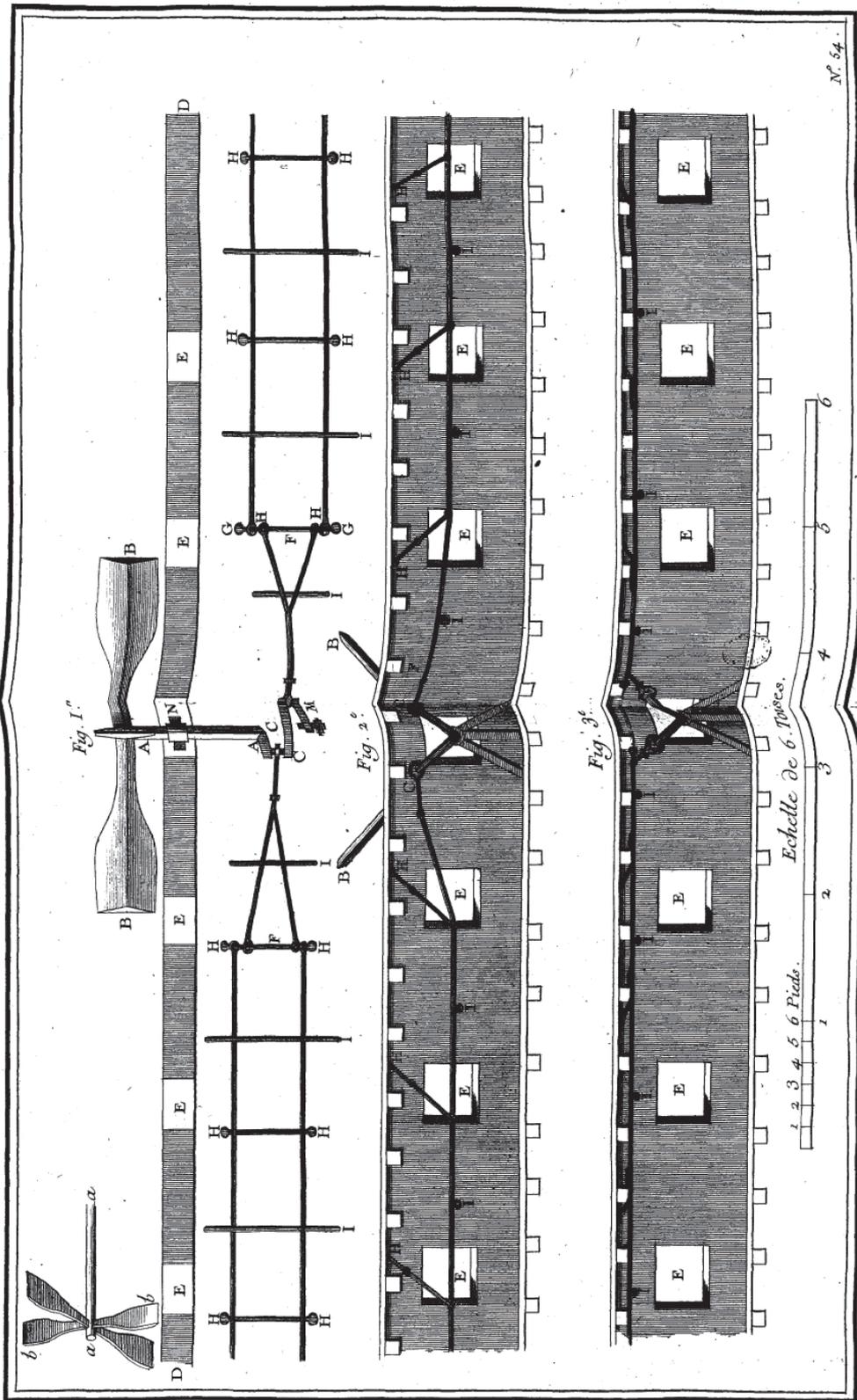


Figure 15 : Rames tournantes de Du Guet (Machines approuvées, 1, 184)

Les résultats impressionnent tout ce beau monde en présence, puisque la galère aux machines est aussi rapide que *La Superbe*. On expérimente que 200 hommes sur la galère aux machines font autant que 200 hommes sur la galère ordinaire. Même, la première a un avantage considérable sur la seconde, qui est de pouvoir sortir du port beaucoup plus rapidement. Hors du port, si l'on emploie la totalité de la chiourme²⁰⁸ de la galère ordinaire, c'est-à-dire 260 hommes, il semblerait que celle-ci soit plus rapide que la galère aux machines. Mais Chazelles fait immédiatement remarquer que la chiourme de *La Superbe* est bien meilleure que l'autre, et que ce bâtiment est reconnu comme l'un des plus rapides, tandis que la galère aux machines est un vieux rafiôt condamné à ne plus servir. En outre la chiourme de *La Superbe* est très exercée au mouvement des rames, tandis que l'autre ne l'est pas pour la nouvelle vogue. Enfin, les rames tournantes sont encore susceptibles de quantités d'amélioration. Les galères ordinaires, non.

[...] on conclurra avec assez d'evidence qu'avec cette inuention appliquée à un batiment qui luy conuienne et ayant déterminé la longueur des rames, la largeur des palles, la force des manivelles, et la distribution des postes des hômes la plus avantageuse, on aura une plus grande vitesse qu'avec les rames ordinaires, ainsi que la raison le persuade, à cause qu'on évite le tems perdu qui se trouve dans la vogue ordinaire.²⁰⁹

En effet, comme l'explique Chazelles en 1702,

La Palade se donne en trois tems : le premier est pour se lever ; le second, pour porter la Pale en avant, le Vogu'ayant faisant un pas & allongeant son corps devers la poupe ; le troisième pour tomber en se renversant les bras en haut pour plonger la Pale dans l'eau, & il n'y a que ce troisième tems qui sert pour faire courre la galère de l'avant. Il faut remarquer qu'en même-tems la chute de toute la chiourme, qui est de deux cens soixante hommes, fait une autre impression à la Galère, la faisant enfoncer ce qui doit retarder sa vitesse, & le mouvement se fait ainsi par secousses ou saccades.²¹⁰

Alors que dans la galère aux machines, la force est continuellement appliquée suivant la même direction.

Pour convaincre de son propos sur la vitesse, Chazelles, dans ce papier des PV de 1706 reproduisant l'expérience de 1693, fait référence à ses journaux, à la date du 28 juin 1687. Il y trouve que *La Patronne* accompagnée de 14 autres galères sortie du port de Marseille, voguant tout en calme, a employé 33 minutes pour aller de la chaîne aux îles. Or la galère aux machines a fait en 1693 ce même chemin avec 200 hommes en 30 minutes seulement, et quoiqu'il y eut un peu de vent par la proue (à l'avant, donc).

²⁰⁸ Chiourme : Ensemble des hommes manoeuvrant la rame d'une galère, à la différence de l'équipage, désignant le personnel ne ramant pas. Les premiers sont des forçats et des esclaves dans la grande majorité des cas ; les seconds jamais.

²⁰⁹ PV ARS: 25, 1706, 78 v°.

²¹⁰ HMARS: 1702, M, 99 .

Chazelles aborde ensuite un point essentiel : la fatigue. C'est un facteur limitant considérablement le travail des hommes. Mais par la nouvelle manière, dit-il, elle est beaucoup moindre, le mouvement à exécuter n'étant que de 3 pieds au lieu de 6 sur une galère ordinaire pour le vogu' avant, c'est-à-dire la galérien situé tout au bout de chaque rame.

On trouve également dans les PV de 1706, un *Mémoire sur l'utilité des rames perpendiculaires & tournantes donné le 27^e février 1693*, toujours par le même, qui reprend les précédents résultats. Chazelles y ajoute que la galère aux machines, du fait de la moindre fatigue de sa chiourme ne sera pas obligée comme les galères ordinaires de voguer à *quartier*, c'est-à-dire alternativement avec un quart de la chiourme, pratique ordinaire sur les galères et destinée à pouvoir ramer longtemps et accessoirement à ne pas crever tous les hommes de peine. Par ailleurs, si on veut augmenter la force d'une galère ordinaire, il faut ajouter des rames et donc allonger le bâtiment, ce qui le rend moins capable de résister à la mer, etc. Sur la galère aux machines, il suffit d'ajouter des hommes aux machines sans modification du bâtiment.

Néanmoins, dit Chazelles, on n'a pas jugé utiles ces rames tournantes pour les galères, aussi curieux que ce puisse paraître. Il faut dire que les officiers des galères ne raisonnent pas comme de froids mécaniciens. En effet, d'une part il faudrait changer la disposition intérieure des galères, qui répond à un agencement complexe pour résoudre tous les problèmes de navigation à la rame, comme par exemple la disposition des barils d'aiguade, c'est-à-dire l'eau qui doit alimenter les forçats durant le service de la rame. Mais ça n'est pas le plus important. Car voyez-vous, "*les galères sans leurs rames qui leur servent d'ornem[ent] et de contrepoids, devenoie[n]t un fort vilain bâtiment de longueur excessive et inutile pour les rames tournantes*"²¹¹. Il n'est en effet pas question d'employer ce surplus de place pour la commodité des rameurs. Et on aurait tort de sous estimer l'argument esthétique mis en avant par les officiers. Les ornements sont le signe et symbole direct de la puissance du roi, censée impressionner l'ennemi. Il faut bien s'imaginer ce qu'est une galère tout armée : une longue coque effilée peinte en rouge sang ou noire, la poupe ornée de sculptures dorées à l'or fin, des bannières, des pavillons de soie brodée à franges d'or, et deux pavesades de damas fleurdelisé qui dissimulaient la chiourme frappant la mer de ses avirons multicolores...

²¹¹PV ARS: 25, 1706, 80 v°

“ « La galère est un char de triomphe » écrivait en 1669 Nicolas Arnoul, l'intendant des galères de France[...] Il n'y a rien qui sente tant son souverain que ces bâtiments, la poupe un peu relevée, et sous vos pieds trois cents esclaves enchaînés ; les empereurs romains ne triomphaient pas avec tant.”²¹²

Ici l'argument de la parure vient en contradiction de la logique d'efficacité qui pourtant sert également la volonté de puissance du souverain. C'est un débat qu'on retrouve d'ailleurs en architecture, sur la nécessité ou non des ornements sur les ponts, et des frontons sur les bâtiments, auquel La Hire prend part. Ceci explique en partie que les rames tournantes n'aient pas été appliquées aux galères ordinaires. Par ailleurs, la galère n'est pas qu'un bâtiment militaire. La flotte, recrée par Louis XIV à partir des années 1660, pour des raisons de domination méditerranéenne, a vite été dépassée par les vaisseaux de hauts bords, à l'artillerie puissante. Durant les guerres du Roi-Soleil, les galères faisaient plutôt office de figurants, escortant le ravitaillement ou remorquant des bâtiments démâtés ou désemparés.

“Machine de guerre anachronique, cruelle et coûteuse, le corps des Galères de France ne servit à rien ou presque à rien, sinon à intimider les corsaires barbaresques, à transporter en Italie ou en Espagne quelques grands personnages, et surtout à déployer, d'avril à novembre, le long des côtes méditerranéennes, le théâtre punitif et baroque de la puissance et de la splendeur du Roi -Soleil.”²¹³

En effet, les galères furent surtout pendant longtemps la seule institution pénitentiaire du pays. Au 18^e siècle, elle n'a subsisté que pour cette raison. Un enfer, où n'importe qui était susceptible d'être envoyé : voleurs de poireaux ou de pain, pilleurs de tronc, coupeurs de bourse, contrebandiers de sel, et surtout déserteurs (45%), formaient l'essentiel des effectifs, bien plus que les grands truands. Que l'on s'imagine la vie d'un galérien, astreint jour et nuit à partager avec quatre autres forçats ou esclaves (les “Turcs”) un rectangle de 3m25 sur 1m30, peinant, mangeant, déféquant et dormant là.²¹⁴

Ces précisions contextuelles sont, nous semble-t-il, essentielles. En l'occurrence, on jugera de l'absolue inopportunité qu'il y avait à proposer des rames plus efficaces pour ce qui n'était qu'un bague flottant et où tout ce qui importait aux officiers se résumait au tourment des prisonniers et à l'élégance de la coque. Ainsi la volonté de mesure d'un effet a eu très peu de conséquences sur le corps des galères. La nécessité ne s'en faisait pas sentir pour les capitaines. Mais Chazelles n'est pas non plus un philanthrope. Il n'a pas un seul mot pour les forçats. Son argument tient uniquement en l'efficacité du nouveau système technique de Du Guet. Il propose alors, devant le refus essuyé, d'appliquer son invention à la construction de nouveaux bateaux de guerre spécifiquement conçus pour accueillir ces rames, qui pourraient

²¹² Nicolas Arnoul cité par ZYSBERG, *Les galériens, vies et destins de 60000 forçats sur les galères de France 1680-1748*: 23-24.

²¹³ *Ibid.*: 24.

servir également au remorquage. Ainsi “on délivre par ce moyen l'équipage d'un des plus fatigants services qui est la remorque”²¹⁵

Il n'en reste pas moins qu'il utilise la vitesse comme définition de l'effet des vaisseaux. Et quand bien même les officiers ne veulent pas des nouvelles rames tournantes, il continuera en 1702 à se référer à elle pour juger de l'effet des rames. Car en effet

Pour bien juger de la force des rames ordinaires, & de la vitesse qu'elles peuvent procurer, on les doit considérer sur la galère qui est le bâtiment auquel on a tâché depuis un tems immémorable, de donner toute la force & la vitesse dont elles sont capables.²¹⁶

²¹⁴ Jean Marteilhe, condamné aux galères pour “fait de religion”, c'est-à-dire protestantisme, en 1701 à l'âge de 17 ans, témoigna de son calvaire dans des mémoires écrits à la fin de sa vie. Son récit édifiant mérite d'être cité ici : “[...] il faut l'avoir vu pour le croire, que ces misérables rameurs puissent résister à un travail si rude ; et quiconque n'a jamais vu voguer une galère, ne se pourrait jamais imaginer, en le voyant pour la première fois, que ces malheureux pussent y tenir une demi-heure ; ce qui montre bien qu'on peut, par la force et la cruauté, faire faire pour ainsi dire l'impossible. Et il est très vrai qu'une galère ne peut naviguer que par cette voie, et qu'il faut nécessairement une chiourme d'esclaves, sur qui les comites puissent exercer la plus dure autorité, pour les faire voguer comme on sait, non seulement une heure ou deux, mais même dix à douze heures de suite. Je me suis trouvé avoir ramé à toute force pendant vingt-quatre heures, sans nous reposer un moment. Dans ces occasions, les comites et autres mariniers nous mettaient à la bouche un morceau de biscuit trempé dans du vin, sans que nous levassions les mains de la rame, pour nous empêcher de tomber en défaillance. Pour lors, on n'entend que hurlements de ces malheureux, ruisselant de sang par les coups de cordes meurtrières, qu'on leur donne. On n'entend que claquer les cordes sur le dos de ces misérables. On n'entend que les injures et les blasphèmes les plus affreux des comites, qui sont animés et écument de rage lorsque leur galère ne tient pas son rang et ne marche pas si bien qu'une autre. On n'entend encore que le capitaine et les officiers majors crier aux comites, déjà las, et harassés d'avoir violemment frappé, de redoubler leurs coups. Et lorsque quelqu'un de ces malheureux forçats crève sur la rame, comme il arrive souvent, on frappe sur lui tant qu'on lui voit la moindre vie ; et lorsqu'il ne respire plus, on le jette à la mer comme une charogne, sans témoigner la moindre pitié.” (MARTEILHE, JEAN, ZYSBERG, A. (éd.), *Mémoires d'un galérien du Roi-Soleil*, Paris, Mercure de France, 1982(1778): 269-270). Marteilhe, pourtant, excuse presque les comites. C'est leur métier, dit-il, ils ont été formés dès le plus jeune âge, et de toute manière on ne saurait faire marcher la chiourme autrement. Mais il ne trouve pas de mot assez dur pour les officiers, ces fils de bonne famille aux manières si délicates et à l'esprit si éduqué, prenant un plaisir sadique à torturer la chiourme dans leurs uniformes clinquants. Marteilhe raconte ainsi qu'un jour, le capitaine de la galère, Monsieur de Langeron, reçut le duc d'Aumont, et celui-ci s'étonna que les forçats puissent dormir sur leurs bancs si exigus. Langeron montra alors à d'Aumont le secret de ce qu'il appelle son “opium” : la rame à passe vogue, c'est-à-dire la marche forcée, qui épuise les forçats jusqu'à la mort. Arrivé au port, et après avoir dîné, les deux aristocrates se rendent dans le coursier, voir la chiourme :

“Mais quel horrible spectacle il lui présentait à voir ! Six malheureux dans chaque banc, accroupis et amoncelés les uns sur les autres, tout nus, car personne n'avait eu la force de vêtir sa chemise, la plupart ensanglantés des coups de corde qu'ils avaient reçus, et tout leur corps écumant de sueur. « Vous voyez, Monsieur, dit le capitaine au duc, si je n'ai pas le secret de faire bien dormir ces gens-là. Je vais vous faire voir que je sais les éveiller comme je sais les endormir. » Sur cela, il donna ses ordres aux comites, qui sifflèrent le réveil. C'était alors la plus grande pitié du monde. Presque personne ne se pouvait lever, tant leurs jambes et tout leur corps étaient roides ; et ce ne fut qu'à grands coups de corde qu'on les fit tous lever, leur faisant faire mille postures ridicules et très douloureuses. Qu'on juge par ces échantillons si les capitaines et les officiers ne sont pas aussi cruels que les comites mêmes.” (MARTEILHE, *Mémoires d'un galérien du Roi-Soleil*: 279)

²¹⁵ PV ARS: 25, 1706, 81 v°. Chazelles ne parle pas dans cette phrase des galères, juste du remorquage occasionnel de certains navires. Et quand bien même il en parlerait, on mesurerait toute la distance qu'il y aurait entre l'enfer décrit par Marteilhe, et la fatigue mentionnée au détour d'une phrase par Chazelles dans un mémoire de 17 pages.

²¹⁶ HMARS: 1702, H, 98.

C'est un propos un peu halluciné que celui-ci, et l'on va dire pourquoi. Dans l'esprit de Chazelles, l'ancienneté du vaisseau galère est le gage de sa dernière perfection, mais par rapport à quoi ? Par rapport à l'utilisation de la force des hommes. C'est en cela que ses propos sont intéressants, en ce que la vitesse va être une mesure directe de l'effet de la force de toute la chiourme au travers d'une machine qui a bénéficié de 2000 ans de recherches et développements. Mais si l'on se permet de juger le propos d'halluciné, c'est que les conditions de vie des esclaves et des bagnards et la disposition même des "locaux" empêchaient absolument une maximisation de la vitesse de la galère. Ainsi l'exiguïté du banc obligeait les captifs à ramer les bras raides en avant. Quiconque a un jour manœuvré une barque se rend compte de la terrible inefficacité d'une telle vogue. Les rameurs utilisent leurs jambes poussant sur elles pour ramener la rame de 130 kilos à eux. Leur efficacité est d'autant réduite que leur nourriture se réduisait à de mauvais biscuits et un peu de soupe de fèves chichement assaisonnée d'huile et de sel.²¹⁷ La galère était plus un pourrissoir d'hommes qu'un objet technique poussé au maximum de ses capacités. Pourtant Chazelles raisonne sur celui-ci en froids termes techniques, bien décidé à en comprendre la mécanique, sans se soucier de la chiourme agonisante. En 1702, donc, il décrit l'organisation d'une galère ordinaire, description qui servira de base à Daniel Bernoulli en 1753 pour calculer le travail des rameurs²¹⁸.

En tout cas Chazelles ne s'illusionne pas sur la réputation de navire rapide qu'entretient encore la galère. "*Je suis assuré qu'une galère voguant tout en plein calme, pendant un tems considérable, ne sçauroit faire deux lieues par l'heure [4,2 nœuds]*".²¹⁹

²¹⁷ Sur tous ces aspects ergonomiques et de conditions de travail des rameurs cf. BURLET, RENE, CARRIERE, JEAN & ZYSBERG, ANDRE, "Mais comment pouvait-on ramer sur les galères du Roi-Soleil?" *Histoire & Mesure*, 1, n° 3-4, 1986, pp 147-208.

²¹⁸ Cf. le chapitre consacré à Bernoulli, *infra*. 26 rames de chaque côté, 36 pieds de longueur pour chacune, dont 12 pieds en dedans de la galère, plus grosse que la partie externe de sorte à faire contrepoids, des pales d'un demi pied de largeur et de 5 pieds de longueur, voici les dimensions mesurées par Chazelles. Ceci lui permet d'écrire que les 26 rames ensemble poussent 65 pieds carrés d'eau, avec la force de 130 hommes, puisqu'il y a 5 hommes par rame. Il s'attarde ensuite à décrire l'inégalité de force que font les rameurs, le vogueur avant, c'est-à-dire l'homme se trouvant en bout de rame, devant parcourir plus de chemin, faisant de la sorte une plus grande fatigue, d'où la nécessité d'un relai dans cette position. "Cela cause un peu de retardement" commente Chazelles... Pour juger ensuite de la vitesse de la galère ordinaire, il observe qu'en vitesse de croisière, celle pouvant durer le plus longtemps en calme, les rameurs donnent 24 palades à la minute et que la première rame donne dans les eaux de la septième, ce qui donne par palade un intervalle de six bancs, soit trois toises. Donc 72 toises à la minute c'est-à-dire une lieue deux tiers à l'heure (environ 6,5 km à l'heure, ou 3,5 nœuds). Ceci implique que l'eau puisse prise comme un point fixe, ce qui est faux. Néanmoins Chazelles dit avoir vu cette vitesse confirmée par ses mesures au loch, qui, on le sait, n'est pas l'instrument le plus précis qui soit.

²¹⁹ Ces observations corroborent donc l'étude de Burlet, Carrière et Zysberg qui, par une étude ergonomique moderne basée sur le travail des galériens, démontre que le système galère ne pouvait pas naviguer à plus de 4

Chazelles étudie ensuite la vitesse des rames tournantes. Elles poussent continuellement 18 pieds carrés d'eau et si elles font un tour en dix secondes, par leurs dimensions, elles devraient être aussi rapides que les galères. Mais cela suppose que l'eau ne cède pas aux pales. Des expériences complémentaires sont nécessaires, dit-il, pour mesurer ce dernier effet. Mais il ne doute pas que cent hommes suffisent à la marche de ces rames.

L'histoire aurait pu s'en arrêter là, mais la question des rames tournantes va être souvent reprise. Ainsi, en 1706, si Chazelles se voit obligé de rappeler ses expériences de 1693 dans la communication lue par le fils Cassini, c'est qu'un placet²²⁰ a été envoyé au roi par un certain monsieur de Hautefeuille en 1705, qui promet de donner des nouvelles rames doublant la force de celles des galères, et dans lequel l'auteur attaque Chazelles pour avoir approuvé les rames de Du Guet, alors que, dit Hautefeuille, l'idée n'est pas nouvelle et qu'il est impossible qu'elles réussissent. En preuve de cela, Hautefeuille cite un mémoire de La Hire de 1702, traitant de la force nécessaire pour remonter les bateaux, dans lequel La Hire applique une nouvelle théorie aux galères. Chazelles, outré, balaye d'un revers de main cet argument, affirmant que la théorie de La Hire *"me paroît plus po[ur] la curiosité que po[ur] l'utilité ; car il est très peu important pour les galères de savoir qu'avec une certaine vitesse elles font une force capable de soutenir le poids d'un certain volume d'eau, mais il leur importe beaucoup de savoir quel est l'arrangem[en]t des hômes, leur situation, la proportion en hauteur des rames qui leur dône[n]t plus de vitesse, et c'est à quoy on s'attache uniquement"*²²¹

On voit là que Chazelles, en homme de l'art, ne mesure pas le sens de la démarche de La Hire. La Hire est dans un mouvement théorique qui cependant ne vise pas la simple curiosité comme le croit l'hydrographe marseillais. Il est dans une démarche proprement technologique, et tente, par une nouvelle mesure de la résistance des bateaux assimilée au poids, de réduire cette machine particulière au calcul et d'arraisonner le navire à la théorie existante. De la sorte pense La Hire, son effet sera calculable a priori, et donc maximisable, effet compris comme une vitesse. Mais Chazelles ne saisit pas. Il vise à une maximisation par un procédé technique dont la mesure est entièrement donnée par l'expérience. En un sens, il a raison de ne pas croire aux possibilités de calcul a priori offertes par La Hire : Chazelles a

ou 5 nœuds en vitesse de croisière en mer belle. (BURLET, CARRIÈRE & ZYSBERG, "Mais comment pouvait-on ramer sur les galères du Roi-Soleil?")

²²⁰ Placet : Écrit adressé à une personne détenant un pouvoir pour lui demander justice, obtenir une grâce, une faveur.

²²¹ PV ARS: 25, 1706, 76 v°.

déjà expérimenté la machine de Du Guet et l'argument théorique de Hautefeuille est en conséquence erroné (si tant est que ce dernier n'ait pas fait d'erreur de calcul). Cependant Chazelles ne semble pas croire que ceci soit un jour possible.²²²

Ceci a cependant le mérite de montrer que l'attitude technologique loin d'être l'apanage d'une poignée d'académicien, était partagée même en dehors de l'Académie (peut être de manière trop optimiste en l'occurrence).²²³

L'idée des rames tournantes va connaître un certain succès, puisque De Camus en proposera de plus petites, adaptables à une chaloupe, basées sur le même principe. Il propose également deux modèles concurrents de rames pour la propulsion des galères basés sur d'autres principes que celui des rames tournantes.²²⁴ Dans les PV de l'Académie du 23 juin 1703, on trouve un rapport favorable de ces rames :

Mrs de La Hire et des Billettes ont dit sur les rames de Mr des Camus, que ces machines leur ont paru nouvelles et la force des rameurs y est appliquée fort simplement et fort ingénieusement, en sorte qu'ils travaillent tous également, ce qui n'arrive pas dans la manière ordinaire de voguer. Il nous a fait voir aussi quelques autres machines qui nous persuadent de sa capacité dans la mécanique.

Le thème de la régularité du travail, et de la moyenne se développe beaucoup à l'Académie de la période que nous considérons. Dans la galère, chaque rameur fournit un effort dépendant de sa distance au point d'appui, ce qui oblige les comites à se transformer presque en DRH, attribuant la place de chacun suivant ses capacités musculaires, et prenant en considération que le vogue avant doit exercer une position de chef de la rame. En outre, les changements de place périodiquement nécessaires impliquent une perte de temps. On préfère désormais des inventions où chaque homme peut être réduit à un homme moyen, où plus aucun temps n'est perdu, où chacun travaillera uniformément et sans discontinuité. Simplement parce que cela facilite le calcul, chaque individu désormais indifférent et interchangeable à un autre.

²²² . Hautefeuille continue sa diatribe contre Chazelles en disant que l'impossibilité de la réalisation de ces rames est bien démontrée par le fait qu'on n'en a vu aucune expérience publique depuis qu'elles sont inventées. Dans une colère jubilative, Chazelles traite alors Hautefeuille d'"ignorant", et se fait une joie de rappeler à son interlocuteur indirect ses mémoires de 1693 et 1702.

²²³ L'abbé Jean de Hautefeuille (1647-1724) fils de boulanger, s'est par ailleurs illustré dans de nombreuses inventions. La biographie universelle de Michaud nous apprend qu'il a sollicité vainement toute sa vie une place à l'Académie des Sciences. C'est à lui qu'on doit en France l'application du ressort à spirales aux balanciers des montres, que Huygens perfectionna, et Hautefeuille cria au plagiat. Il inventa également des trompettes parlantes (des porte-voix) une pendule perpétuelle avec un moyen d'élever l'eau par la poudre à canon (1678), des lunettes et niveaux, des instruments pour mesurer la respiration, l'évaporation, la pluie, un microscope, des instruments de mer, s'essaye même à l'économie en proposant des moyens d'empêcher la perte qui se fait sur les billets de Law.

²²⁴ Machines: 2, 45-52.

Il nous faut revenir à présent sur le moment technologique lahirien, au sujet de l'examen des galères, qui sert à Hautefeuille pour discréditer la machine de Du Guet. Nous allons voir, qu'il y est également question d'effet mais d'effet réduit à un poids. La manière dont procède La Hire cependant, n'est pas triviale.

1.F.b. LA FORCE POUR REMONTER LES BATEAUX DANS LA CONCEPTION DE LA HIRE (1702)

Un homme comme La Hire cherche à réduire le travail des hommes au poids soutenu dans des effets particuliers, tel que la résistance des bateaux aux flots, par des méthodes inédites. Voyons comment.

1.F.b.i CALCUL = ECONOMIE

C'est un beau mémoire que présente La Hire en 1702. Intitulé *Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux tant dans l'eau dormante que courante, soit avec une corde qui y est attachée & que l'on tire, soit avec des rames, ou par le moyen de quelque machine*,²²⁵ La Hire propose une nouvelle méthode de détermination de l'effet des bateaux à partir de leur résistance au mouvement. Fontenelle, à l'occasion de ce mémoire, énonce les espoirs et les ambitions d'une telle recherche, non pas seulement celle de La Hire en particulier, mais des recherches mécaniques de l'Académie en général :

Nous sommes dans un siècle où les arts cherchent à profiter des nouvelles lumières de la philosophie. Comme la nature du mouvement est mieux connue, on voit naître plus de machines, ou du moins plus d'idées, qui d'ordinaires sont ingénieuses ; sur-tout l'utilité qu'il y auroit pour les inventeurs à remonter les bateaux contre le courant des rivières en épargnant les chevaux, a fait que la plupart ont tourné de ce côté-là leurs desseins, & les efforts de leur esprit.²²⁶

On a vu, en effet, à quel point le sujet du remontage des navires est présent à l'Académie à cette époque. Fontenelle et La Hire mettent en garde, cependant, contre les inventeurs de toute sorte, qui prétendent inventer des machines sans rien connaître de la mécanique. Le point délicat, en effet, est de pouvoir mesurer l'effet. Comment le définir ? Dans l'idée de Fontenelle, l'effet peut être réduit au poids :

²²⁵ LA HIRE, PHILIPPE DE, "Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux tant dans l'eau dormante que courante, soit avec une corde qui y est attachée & que l'on tire, soit avec des rames, ou par le moyen de quelque machine", HMARS, 1702, M, 254-280.

²²⁶ HMARS: 1702, H, 126.

Rien n'est exactement connu en mécanique que ce qui est évalué en livres ; on ne sait ce que vaut une force, que quand on sçait quel poids elle peut soutenir.²²⁷

Et cette détermination est essentielle dans les ouvrages d'art car :

[...] il est aisé d'être trompé au succès de ces sortes de machines, parce qu'il est très-difficile d'en faire le calcul, c'est-à-dire, de sçavoir précisément à quoi monte la résistance de l'eau courante qu'on entreprend de vaincre, & à quoi montera la force qu'on y veut opposer.²²⁸

Le but est clairement énoncé par Fontenelle : *le raisonnement seul pourra plus facilement épargner les frais de l'expérience*²²⁹, et il faut entendre le mot épargne au double sens d'économie d'argent et de peine. Cette ambition est une constante de l'époque. Fontenelle, La Hire, Amontons et Parent expriment tous la même vue : que la technique et la science mécanique se rapproche afin de déterminer les lois naturelles des effets des objets techniques. Un seul but : le calcul des effets à fin de prévision et de maximisation. Entre la technique et la mécanique rationnelle vient alors se créer un espace : celui de la science des techniques, c'est-à-dire la technologie, dont le point central est l'effet des machines, bientôt défini par le travail. Cette technologie aura l'ambition de s'appliquer à toutes les machines artificielles, certes, mais également à toutes les entités comprises sous le schème de la machine, dont l'homme, ultime référent de toute la mécanique de l'effet.

1.F.b.ii PRINCIPE DE CALCUL : UNE « FICTION GEOMETRIQUE »

Pour ce faire, dans ce mémoire, La Hire va rapprocher les recherches sur la mesure de la force mouvante de l'eau et de la résistance des solides à celle-ci, de la considération du travail des rameurs et des machines destinés à remonter les bateaux. Il reprend donc dans un premier temps les expériences de Huygens (cf. supra), et de Mariotte.

Il propose alors ce qu'il appelle lui-même une *fiction géométrique* : considérer que l'eau venant frapper la surface d'un bateau et de ses éventuelles rames exerce le même effort, assimilable à un poids, qu'un parallépipède d'eau ayant comme base la somme de la surface du bateau et des rames, et comme hauteur celle nécessaire pour que de l'eau tombant de cette hauteur ait la même vitesse que l'eau venant choquer le navire. En somme, ce que propose La Hire, c'est le modèle de la balance semblable à celui de la première expérience de Huygens sur la force des eaux : mettre en équilibre d'un côté le courant animé d'une vitesse et de l'autre un prisme d'eau statique (voir la Figure 16).

²²⁷ *Ibid.*

²²⁸ *Ibid.*

²²⁹ *HMARS: 1702, H, 134.*

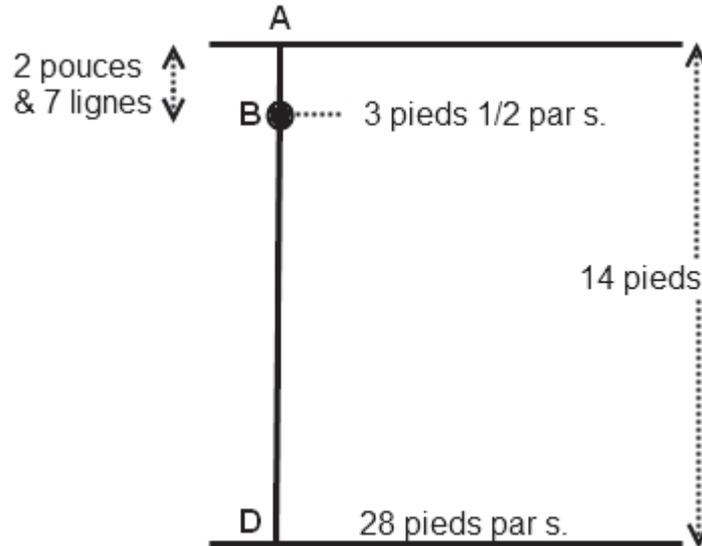


Figure 16 : Si un corps pesant tombe en chute libre depuis le point A, il atteindra en une seconde la distance de 14 pieds et la vitesse de 28 pieds par seconde.

La Hire se justifie, en citant Mariotte qui, par une expérience au milieu de la Seine en avait déterminé la vitesse (3 pieds & $\frac{1}{4}$ par seconde), ainsi que le poids que ce courant pouvait soutenir lorsqu'on lui opposait perpendiculairement une plaque de 36 pouces carrés (résultat : 3 livres $\frac{3}{4}$). Il calcule alors quelle hauteur d'eau doit avoir un prisme de 36 pouces carrés pour avoir un poids de 3 livres $\frac{3}{4}$ (en considérant qu'un pied cube d'eau pèse 70 livres). Réponse : 31 lignes, ou 2 pouces 7 lignes à peu près. Puis il détermine à quelle vitesse serait émis un jet d'eau sortant d'un réservoir si la colonne située au-dessus de lui était de 2 pouces 7 lignes. Il trouve : 3 pouces $\frac{1}{2}$ par seconde. C'est-à-dire une valeur proche de la vitesse expérimentale mesurée par Mariotte. Conclusion : si on néglige les défauts de l'expérience, on voit qu'un courant d'eau de vitesse V exerce sur une surface S la même force que le ferait un solide d'eau de base S et de hauteur H nécessaire à l'acquisition par un solide de la vitesse V (H est proportionnelle au carré de la vitesse).

Pour mener à bien son calcul, il lui a suffi de considérer (Figure 16) qu'un corps pesant parcourt une distance $AD=14$ pieds en une seconde de temps, atteignant au bout de cette seconde la vitesse V_D de 28 pieds par seconde ; et que dans la chute d'un corps pesant les rapports des hauteurs sont en raison du rapport des carrés des vitesses, autrement dit

$$AD/AB = V_D^2/V_B^2. \text{ Donc } V_B = \sqrt{(V_D^2 \cdot \frac{AB}{AD})} = \sqrt{\frac{28^2}{14} \cdot AB} = \sqrt{56 \cdot AB} \text{ ou } AB = V_B^2/56.$$

Les vitesses et distances doivent être exprimées en pieds.

Bien sûr, sa théorie implique que l'on puisse réduire la surface des navires à une surface pleine et perpendiculaire. Evasif, il considère qu'on peut réduire à cela toutes les surfaces irrégulières que le bateau expose au mouvement. Par cette affirmation un peu obscure, nous supposons qu'il prend en compte la surface de toute la partie immergée de la proue dont l'angle avec la direction du fluide est compris entre 0 et 90 degrés. L'irrégularité, le frottement, sont alors assimilés à une résistance directe.

De la sorte, donc, si on connaît V_B , la vitesse du bateau, on connaîtra la hauteur d'eau AB correspondante, et il suffira de faire le produit $AB \cdot S \cdot \rho = P$ (avec ρ le poids d'un pied cube d'eau que Huygens prendra désormais égal à 72 livres pour des raisons de commodité), pour obtenir l'effort de l'eau contre un bateau. Il est strictement équivalent, nous dit-il, que le bateau soit immobile dans une eau courante, ou en mouvement dans une eau dormante, ou même que les deux entités soient mobiles : il suffira de prendre la vitesse relative du fluide par rapport au bateau.

Ceci lui permet d'examiner la force des chevaux pour tirer un bateau en prenant l'exemple d'un grand bateau Foncet sur la Seine qui présente 108 pieds de surface à l'eau animé d'une vitesse de 2 pieds $\frac{1}{2}$ par seconde, et tiré par 12 chevaux qui le font remonter à contre courant de 1 pied $\frac{1}{2}$ par seconde, soit "9000 toises en dix heures, qui est le tems que les chevaux peuvent *travailler* chaque jour"²³⁰. Alors $AB = \frac{4^2}{56} = 3$ pouces 5 lignes $\frac{1}{7}$ environ pour la hauteur du prisme d'eau, ce qui représente un poids égal à $108 \times 72 \times AB = 2222$ livres environ (et non 1896 comme l'indique La Hire). Chaque cheval soutient alors 158 livres d'après La Hire (185 d'après nous), faisant 1 pied $\frac{1}{2}$ par seconde. Ce dont il est question ici c'est l'idée d'un calcul de l'effort des chevaux dans le cadre d'un travail.

1.F.b.iii L'EFFET DEPEND DE L'APPLICATION DES FORCES

La Hire fait alors une importante digression nécessaire à l'entente de son sujet, et qui a trait pour ainsi dire à la répartition des forces qui a lieu quand deux bateaux sont remontés en même temps : par exemple lorsqu'une corde relie les deux, chacun mobile, et qu'une puissance interne à l'un des bateaux tire cette corde. Autre exemple : un bateau est relié à une poulie fixée sur un piquet planté au milieu de la rivière, par l'intermédiaire d'une corde sur laquelle des hommes ou un cheval tirent, à l'aide d'un cabestan par exemple. La Hire donne

²³⁰ LA HIRE, "Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux": M, 261. Nous soulignons.

une vue tout à fait originale de la chose, en faisant appel à une expérience que tout un chacun peut refaire chez lui s'il dispose d'une corde, d'un chariot à roulettes et d'une poulie. Il a essayé, dit-il, en se mettant dans un petit chariot attaché à un point fixe par une corde horizontale, de tirer la corde à force de bras, pour ainsi amener le chariot près du mur. Toute la peine du monde lui a été nécessaire. Remplaçant ensuite ce point fixe par une poulie, il a pu tirer le chariot bien plus aisément. De même, il aurait tenté de monter à la corde à la force des bras, sans vraiment y arriver. On imagine la scène cocasse du professeur de mathématiques au collège de France, tenter de faire un exercice aussi physique. Disposant alors en lieu et place du point fixe au plafond, une poulie par dessus laquelle il fit passer la corde, et mettant le pied dans une boucle formée à l'autre extrémité de la corde (à la manière d'un étrier), il put, quoiqu'en dévidant deux fois plus de corde, se faire monter très aisément.

Au delà de l'anecdote, La Hire propose une interprétation : dans les cas où seul un point fixe, et non une poulie, est utilisé, une partie de la force est perdue inutilement. En effet, tandis que La Hire s'escrime sur son chariot à tirer la corde, il utilise une partie de sa force à un usage inutile : tirer le point fixe. Fontenelle explique :

Dans la première disposition, les mains de l'homme assis dans le traîneau, ayant saisi la partie de la corde la plus avancée vers le point fixe qu'elles ont pû, elles font la double action, & de s'appuyer par le moyen de la corde sur le point fixe qu'elle tiroient à elles, s'il n'étoit immobile, & de tirer à elles & vers le point fixe, l'homme & le traîneau par le moyen des muscles des bras. Or il est manifeste que l'action par laquelle les mains tirent à elles le point fixe, est inutile à cet égard. Dans la seconde disposition, cette action inutile de tirer à soi le point fixe, se change en celle de faire avancer le traîneau vers ce même point, parce qu'un des bouts de la corde est alors attaché au traîneau²³¹

On observe la même chose quand on tire un fardeau à soi en s'arcbutant sur ses pieds : on pousse la terre avec les pieds, et on tire le fardeau avec les bras qui font un effort égal à celui des pieds, *“mais il est visible que l'action des pieds, quoique nécessaire pour tirer le fardeau, n'est pas celle qui le tire. Si l'on pouvoit faire en sorte que cette action des pieds tirât aussi le fardeau, & la mettre à profit pour cet effet que l'on a uniquement en vûe, il est clair qu'on en tireroit la fardeau avec une fois plus de facilité, puisque la nouvelle action qui y conspireroit seroit égale à la première.”*²³²

Ceci bien entendu, La Hire peut appliquer son calcul au cas d'un bateau dont la force mouvante pour remonter se trouve sur le bateau même, dans le cas où il est remonté vers un piquet à l'aide d'une corde passant sur une poulie disposée sur ce même piquet. On se retrouve alors dans le même cas que précédemment. *“Ainsi [...] on voit qu'il ne faut que la*

²³¹ HMARS: 1702, H, 129-130.

²³² Ibid.: 1702, H, 129.

*moitié de la force pour faire le même effet que si le bateau étoit tiré par une puissance qui marcheroit à terre*²³³. Bien sûr, la puissance doit faire le double de chemin. Mais, insiste La Hire à plusieurs reprises, ce n'est pas proprement cette augmentation de chemin qui fait l'augmentation de force, comme on l'entend affirmer à propos d'autres cas. Ici, l'homme a toujours la même force, elle est simplement appliquée différemment. Ca n'est pas le fait de dévider de la corde qui fait qu'on a plus d'effet. On peut ainsi, dit La Hire, tirer une corde au bout de laquelle rien n'est attaché, et on en dévidera ainsi tant qu'on voudra sans faire le moindre effet, en supposant la corde sans pesanteur. *La cause du plus d'effet n'est pas le plus de chemin, mais la double application d'une même force*. Une même force peut ainsi faire deux fois plus d'effet, au sens d'un poids soutenu.

Idem si ce premier bateau est rattaché à un second, au lieu d'un piquet et si la force mouvante est dans le premier bateau. Mais il faut alors prendre garde à ce que la surface exposée aux flots sera double (si les deux bateaux sont identiques), ce qui n'arrive pas dans les cas précédents.

Cette histoire de même force appliquée en des points différents va alors lui servir, dans la même veine, à analyser les rames. Imaginons une chaloupe, nous dit-il. Un homme actionne des rames. Pourquoi ces rames font avancer le navire ? Les choses sont moins simples qu'il n'y paraît. En effet, ce qu'on pousse véritablement, c'est le point d'appui de la rame sur le navire. Ainsi, les pieds du rameur poussent le bateau de l'avant à l'arrière, tandis que les bras tirent le bateau de l'arrière à l'avant via le point d'appui. Ces deux actions sont contraires, et la force de l'homme sert aux deux. S'il n'y avait pas de rames, et que l'homme veuille pousser le point fixe où vient s'emmancher une rame, les deux actions seraient exactement égales, et détruites mutuellement. Les rames permettent de faire plus d'effet par leur disposition de levier. L'eau est alors considérée comme un point fixe dans la mesure où elle cède avec moins de vitesse que celle à laquelle elle est frappée. Procédé classique de réduction d'un objet à un levier ou un assemblage de leviers. Plus qu'une habitude, une modélisation. Dès lors, La Hire considère qu'il y a deux puissances appliquées au levier rame, où le point fixe est l'eau, et la charge située au point fixe. L'une est bien sûr appliquée à l'endroit de la main du rameur. L'autre est appliquée directement au point fixe. Cette dernière force est inutile car détruite par la force contraire des pieds. Il appelle cette dernière force absolue, et la première, force relative. Deux forces égales appliquées à différentes distances

²³³ LA HIRE, "Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux": M, 268.

du point fixe d'un levier font des "efforts" qui sont entre eux dans le même rapport que les distances. Ainsi le rapport de la force absolue à la force relative sera déterminée par le rapport de la distance de l'eau jusqu'au point d'appui, à la distance de l'eau jusqu'à la main du rameur. La force absolue étant perdue, on ne doit donc considérer comme utile que la partie du levier allant du point fixe à la main. C'est ce qui fait dire à Fontenelle que plus la partie extérieure de la rame est grande, plus la force relative, utile, sera moindre.

Par là même, La Hire met en avant les contraintes structurelles qui empêchent l'utilisation maximale de la force. Ces contraintes structurelles seront également mises en avant par Parent, mais dans une autre définition de l'effet, plus pertinente.

1.F.b.iv RESULTATS ET APPLICATION AUX GALERES

Il faut enfin avoir égard, pour faire le calcul, à la surface des pales, comparées à celle du bateau. La première doit être la plus grande possible. Il faut considérer qu'elles permettent de mouvoir la surface A du bateau. Admettons suivant l'exemple que La Hire nous donne, que celle-ci soit égale à 80 pieds carrés, et que la puissance utile soit de 1000 livres. Par les règles précédentes, on trouvera que pour avoir un volume d'eau égal à cette puissance et dont la base soit de 80 pieds carrés, il faut une hauteur de 0, 1736 pieds ($AB = 1000 / (80 \cdot 72)$). Alors $V_B = \sqrt{56 \cdot AB} = 3,11$ pieds par seconde. Ceci exprime la vitesse du bateau par rapport à un point fixe. Il faut alors considérer la surface C des rames, mettons qu'elle soit triple de la surface A. La même puissance de 1000 livres devant s'appliquer aussi à cette surface, on trouve de la même manière que la vitesse de la pale est de 1,8 pieds (La Hire trouve 1 pied $\frac{3}{4}$, bien que les HMARS 1702 (M, 274) indique une coquille de 1 pied $\frac{1}{4}$). Cette vitesse est celle d'une pale s'éloignant d'un point fixe dans un sens inverse au mouvement de la surface A. De la sorte il faut ajouter les deux vitesses pour trouver que le bateau s'éloigne de la rame d'une vitesse de 4 pieds $\frac{3}{4}$ par seconde environ.

A la fin du mémoire, La Hire applique enfin son calcul aux galères. Considérant la surface de la coque se présentant au mouvement de 80 pieds, 52 rames, trois rameurs à chaque rame, 36 pieds de longueur pour chaque rame, 9 pouces de largeur pour chaque pale dont la longueur dans l'eau est de 4 pieds $\frac{1}{2}$, et une longueur interne des rames égale à $\frac{1}{3}$ de son total, on trouve que la surface totale des pales dans l'eau est de 175 pieds $\frac{1}{2}$. La galère marche, selon La Hire, avec une vitesse de 56 pouces par seconde. Il va chercher l'effort des rameurs par les mêmes règles que précédemment. Il trouve 2240 livres pour la puissance

relative des rameurs, ce qui revient au double pour la puissance absolue, celle qui doit nécessairement être employée par les rameurs. Soit 28 livres $\frac{2}{3}$ par rameur. Il détermine par suite le chemin que la main doit faire par rapport à la rame. Ceci n'est cependant qu'une moyenne, chaque rameur exerçant nécessairement un effort différent, du fait de sa position différente au point d'appui. En outre il précise : "*comme, dans l'usage des rames ordinaires le travail est interrompu, les rameurs peuvent facilement recompenser le temps perdu où ils ne font aucun effort, & où ils se reposent en quelques façon, en travaillant avec plus de vigueur à chaque coup de rame*" (Ibid., 278). La Hire a bien en tête le travail, même s'il le conceptualise comme un poids soutenu.

1.F.b.v LA HIRE : UNE AVERSION POUR LA DISTANCE ?

La méthode, donc, est inédite. Mais qu'on n'ait jamais jusque là, d'après Fontenelle, conceptualisé la résistance des bateaux comme le poids d'un solide d'eau dont la hauteur soit déterminée par la vitesse de la rivière au carré, on se rend bien compte cependant que cette méthode n'est qu'une suite logique de la compréhension de l'effet sous le schème de la force pondérale, telle qu'elle s'exprime déjà à l'Académie en 1668-1669, notamment dans les expériences de Huygens (cf. *supra*). Entre les expériences de celui-ci, précédemment relatées, et la démarche de La Hire, le chemin, somme toute, n'est pas si grand. Huygens en effet, avait déjà bien compris la dépendance en v^2 de la force de l'eau, et sa première expérience, celle de la balance, présente de fortes homologues avec la démarche lahirienne. Huygens expliquait déjà que la force du jet pouvait se réduire au poids de la colonne d'eau située au dessus de l'ouverture du réservoir. Qu'il ait manqué, dans un premier temps, le facteur deux, du fait de sa non considération de la contraction de la veine et des frottements, n'importe pas ici. La Hire ne dit pas autre chose, si ce n'est qu'il parle de résistance d'une surface entourée de fluide, et non plus d'une surface frappée par un jet, ce qui est tout de même une situation substantiellement différente.

Les savants, dès même Huygens, intuitent d'ailleurs bien cette différence, en ce qu'ils expérimentent la force des jets d'une part, et d'autre part la résistance de l'eau ou des surfaces, que ce soit en laboratoire dans un canal artificiel ou *in situ* sur la Seine. Bien sûr, la matière se trouvera être extrêmement plus composée qu'on ne pourrait s'y attendre de prime abord, et la dépendance en v^2 s'avèrera insuffisante pour modéliser le comportement des objets réels, notamment les bateaux.

Il n'empêche que ceci permet à La Hire de développer une méthode élégante, à finalité pratique. C'est bien là son but, comme nous l'avons déjà indiqué plus haut, citant Fontenelle : il s'agit de rapprocher la technique de la mécanique noble, arraisonner l'une à l'autre. Une démarche qui va cependant rester longtemps infructueuse, non pas que les propos de Fontenelle et de ses collègues soient une hypocrisie destinée à flatter un gouvernement sur le thème de l'utilité, mais parce que les difficultés de cette démarche sont réelles, et différent d'un objet technique à l'autre.

L'autre limitation, c'est le scepticisme des hommes de l'art, comme le montre la réaction de Chazelles dont l'esprit n'est pas tourné vers une telle démarche. Pour lui, les choses se trouvent bien plus du côté de la géométrie des rames que de la mécanique des fluides. En outre, dans son esprit, le choix entre deux objets techniques à même fonction doit se faire sur le pied d'une comparaison, en l'occurrence ici sur une définition de l'effet immédiat, la vitesse : mais bien qu'il ne soit pas fermé à une dimension d'amélioration des objets techniques, il n'est pas du tout dans cette optique qui motive La Hire (entre autres), consistant en une réduction de l'objet technique à un processus machinique dont la connaissance des lois permettra la connaissance a priori de l'effet. Plus d'engrenages, plus d'expériences, alors, ou plutôt : les formules sont maintenant les engrenages idéels d'une machine virtuelle remplaçant la réalité pour la prévoir.

Ce qui limite La Hire, c'est notamment de ne pas avoir une définition de l'effet qui prenne en considération la distance parcourue. C'est une expression directe de l'obsession pondérale qui prévaut depuis longtemps. La Hire se désintéresse de la distance, arguant, sans doute avec raison, que ce n'est pas la distance parcourue qui fait le plus ou moins de force. Ce qui compte, c'est la disposition de la force, ses points d'application, et au final la distance n'est qu'un effet géométrique qu'il importe peu de considérer pour elle-même. Même, la considération de cet effet géométrique peut créer des confusions sur la compréhension de la physiologie. Ainsi l'effort des animaux "*qui tirent ou qui poussent en marchant et en se mouvant*" ne peut pas se comprendre exactement sous le même rapport que les objets inanimés,

car c'est une supposition de quelques mécaniciens, par laquelle on pouvoit qu'un homme qui peut élever un poids de 100 livres à 10 pieds de hauteur en une minutes, pourroit élever dans le même tems un poids d'une livre à 1000 pieds de hauteur ; ce qui est absolument impossible ; car un homme ne peut faire qu'un certain mouvement tout au plus dans un certain tems, quand même il ne tireroit aucun poids.²³⁴

²³⁴ *Ibid.*: M, 280.

Ainsi, le corps est un facteur limitant, en ce que sa vitesse est limitée. En outre, peut-on ajouter, la vitesse de déplacement des membres augmente l'effort d'une proportion qui n'est pas simplement proportionnelle. Enfin, et ceci non plus n'est pas dit explicitement par La Hire, la fatigue des hommes de peine et des animaux va entraîner une limitation considérable dont il faudra tenir compte. Les savants s'attacheront à cela en cherchant à connaître empiriquement et par avance, ce que des être animés sont susceptibles d'élever, ou de soutenir dans différentes circonstances. Ce problème de la fatigue occupera beaucoup Daniel Bernoulli (cf. *infra*) dans sa conceptualisation du travail des hommes, et il le résoudra en supposant la fatigue directement proportionnelle au travail

La Hire cependant, ne peut pas faire comme si la distance n'existait pas. Dans la considération des rameurs, ou des chevaux travaillant dix heures par jour, il mesurera ou calculera le poids que peuvent soutenir ces êtres durant toute une journée de travail. Ainsi la distance, comme reflet de la fatigue, s'inscrit implicitement dans ses calculs et ses considérations, bien qu'il cherche à l'évincer.

Tout ceci se passe en 1702, 3 ans après Amontons et sa définition de l'effet comme un travail intégrant la distance parcourue et sa vitesse d'exécution, au travers de son concept de *puissance continue* (chapitre 2). Pourtant La Hire ne l'utilise pas. Selon nous, c'est dans sa conception que la distance ne reflète pas le travail, la force de l'homme qu'il faut chercher la raison de son refus implicite, en ce que pour lui seul compte le poids soutenu. Que l'on doive dévider plus de corde n'ajoute ni ne retranche rien à l'effet tel qu'il se le figure. Ceci, nous semble t-il, est une conséquence directe de l'importance de l'équilibre dans les conceptions d'alors, un thème qui empêchera longtemps une définition de l'effet s'en départissant, comme chez Amontons ou Parent. Nous définirons plus loin ce que nous entendons par là, notamment lorsque nous parlerons d'Amontons pour qui l'effet n'est plus un simple poids soutenu sur le modèle de la balance, mais comme la dépense d'une potentialité, une force brulée dont le résultat est proprement le travail au double sens d'un ouvrage en train de se faire, et de son résultat.²³⁵

²³⁵ On peut remarquer que cette non considération de la distance se retrouve dans son papier de 1699.

1.G. CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, quelles réponses apportons-nous aux deux questions que nous posons : en quoi l'environnement de l'Académie Royale des Sciences de Paris prépare-t-il la pensée du calcul du travail par Amontons et Parent ? Et quels obstacles génère-t-il ?

La première réponse que l'on a vu illustrée tout au long de ce chapitre, tient à la création d'un lieu unique où viennent converger trois figures, porteuses de trois démarches jusqu'ici relativement séparées : le théoricien, l'expert, l'ingénieur. Trois figures confrontées à un même problème : l'effet des forces mouvantes appliquées aux machines. Si on attend de l'expert qu'il juge la machine suivant les critères en vigueur, c'est-à-dire *la nouveauté et l'utilité* (d'après le règlement de 1699, qui contractualise la définition de l'académicien forgée dans la décennie écoulée), le théoricien est dépositaire et développeur d'un savoir sur la matière, et l'ingénieur est en charge de déterminer les conditions d'une action avantageuse énoncée en termes de dépense et de maximisation.

La convergence de ces trois démarches (souvent même chez les mêmes personnes), amène à concilier la logique de la machine productive et les lois rationnelles régissant la matière pour former un critère de jugement qui ait un sens économiquement, sur ce que l'on paye et ce qu'on produit. La résolution de cette dynamique tripartite forme l'histoire du concept de travail mécanique depuis la fin du 17^e siècle jusqu'aux ingénieurs-savants du 19^e siècle. Elle tend à se mettre en place dans ce lieu singulier de l'Académie Royale des Sciences.

La deuxième réponse tient aux caractéristiques de la problématique de la substitution des forces mouvantes. Si celle-ci nous semble si importante à l'époque qui nous concerne, c'est que les problèmes qu'elle présente forment une matrice sur laquelle va se former le concept destiné précisément à résoudre ces problèmes, à savoir le travail mécanique. La solution intègre les mêmes caractéristiques que le problème. La substitution se donne en effet à voir sous trois dimensions : mécanique, organique, économique.

Mécanique, car la possibilité d'une substitution de forces mouvantes entre elle présuppose naturellement que les effets donnés par les forces substituantes et substituées soient commensurables entre eux. Cette dimension pose donc le problème de la définition de l'effet mécanique à choisir pour obtenir une équivalence des effets. L'effet est donc ce qui doit rester quand on substitue une force par une autre, par n'importe quelle autre. Elle unit les

sources par leurs effets. Il y a donc dans le simple énoncé de la substitution un programme de recherche sur la définition de l'effet.

Economique, car une problématique de substitution est en soi un problème économique lié à une démarche d'ingénieur, cherchant soit à économiser le prix du travail (salaires ou entretien) des forces animés (hommes, chevaux, bœufs), soit à permettre la réalisation d'un produit par des forces animées au lieu d'inanimés (eau, vent) afin de pallier l'absence de ces éléments en un lieu où la production est nécessaire ou bien de rendre la production uniforme et/ou permanente.

Organique, enfin, car l'un des deux termes de la substitution met toujours en scène une force animée et donc la représentation organique de la production de la force : le processus de création de force ou de travail par l'organisme a un coût dont l'agent comptable est la peine ou la fatigue. La dimension mécanique, qui tend justement à trouver un lieu commun entre l'effet mécanique et le travail animal, n'efface pas entièrement cette dimension-ci. En ce sens, le fait que Coriolis en 1829 mentionne comme un avantage certain que sa conception du travail mécanique rappelle l'idée d'un effort physique exercé contre une résistance, ou que Coulomb en 1781 cherche à optimiser le rapport travail/fatigue en rendant les deux commensurables, ou encore que Daniel Bernoulli décrète pour la validité de son modèle théorique que la fatigue soit directement proportionnelle, et donc commensurable, au travail réalisé, n'est en ce sens nullement un hasard. La représentation organique de la production de force se diffuse par contact avec les autres forces mouvantes appliquées aux machines, dans cette problématique de substitution.

Cette triple dimension que pose le problème de la substitution trouve sa correspondance dans ce qui doit servir à la résoudre, le travail mécanique. Ce concept (ou ses antécédents) se doit d'allier une pertinence mécanique, économique, et charrie avec lui la représentation organique de production de la force.

Les différentes mesures de l'effet que l'on a vu passer dans ce cadre, sont des avatars de cette problématique de substitution dans le cadre de l'Académie Royale des Sciences. Néanmoins on voit que cet effet a pu être formulé par une simple expression pondérale, et quand la vitesse est associée avec elle dans un produit, elle ne recouvre pas ce que seront ensuite la puissance continue d'Amontons, l'effet général de Parent (cf. chapitre 2) la pseudo-quantité de mouvement de Bélidor (cf. chapitre 3) la *potentia absoluta* de Daniel Bernoulli (cf. chapitre 4), bref elle n'est pas un antécédent du concept de travail mécanique,

notamment parce qu'elle ne donne à voir que l'équivalence entre les deux termes d'une application, sans mention de transmission ou de transformation, sans être intégré dans une logique de production.

C'est que si l'environnement est porteur d'une heuristique susceptible de mener à une physique du travail mettant en scène la clé de coordination des interfaces mentionnées plus haut, il est aussi porteur d'obstacles s'opposant à la conceptualisation du travail mécanique. Si l'on parle d'obstacles ici, il ne faut pas du tout le situer dans une pensée rétrospective, ou une conception de l'histoire comme avènement d'une nécessité : des éléments feraient alors obstacle à une idée, ici le travail mécanique, conçue comme nécessaire. Pas du tout. On cherche seulement à saisir, répétons-le, comment le concept a été *possible*.

Le premier d'entre eux, on l'aura compris, concerne la prégnance du paradigme statique dans les esprits. Non seulement la réduction des forces mouvantes à une pression d'ordre pondéral où règne le modèle de la balance et du levier, a l'avantage conséquent de pouvoir rapporter les phénomènes étudiés si différents en apparence à une unique conception déjà connue, mais en outre il mobilise une énergie conséquente de la part des académiciens occupés à former la physique dans ce cadre de référence privilégié. A la fin du 17^e siècle et au début du 18^e siècle, ceci n'a rien d'étonnant dans la science française. Christophe Schmit a ainsi montré qu'on observe cette même tendance à réduire les phénomènes à l'image de l'équilibre dans la mécanique des chocs française.²³⁶

Le deuxième obstacle est d'ordre théorique. La compréhension des machines dépendait en grande partie de la capacité des scientifiques à réduire les procédés techniques à l'empire du calcul rationnel. L'exemple des moulins à vents est exemplaire. Antoine Parent essaie bien de les modéliser mais le calcul du travail d'un tel moulin n'est possible qu'une fois établi le calcul de la force du vent sur les ailes, qui s'avère dans les faits d'une complexité folle, bien supérieure à celle d'une roue de moulin à eau dont on considère qu'elle est frappée horizontalement par un fluide pensé comme perpendiculaire à la pale.²³⁷ La figure et les dimensions des pales des moulins à vent sont des obstacles majeurs à la connaissance de la force qui s'exerce sur la pale, même en situation d'équilibre. En outre, il est impossible dans

²³⁶ SCHMIT, "Equilibre et dynamique".

²³⁷ Cette apparente simplicité des moulins à eau vis-à-vis des moulins à vent est bien sûr une illusion. Les données du problème reprises et modifiées par les successeurs de Parent, montreront la trop grande simplification que suppose la modélisation de Parent. On cessera alors de modéliser la machine comme le siège de chocs. Sur l'hydrodynamique dans le second 18^e s., Voir aussi : BLAY, *La science du mouvement des eaux et* GUILBAUD, ALEXANDRE, "La République des hydrodynamiciens de 1738 jusqu'à la fin du 18^e siècle", *Dix-Huitième Siècle*, n° 40, 2008, pp 153-171.

une telle machine de considérer la vitesse des pales comme nettement inférieure à celle du fluide, comme il advient dans un moulin à eau. Avant de penser les effets de toutes les machines animées de n'importe quelle force mouvante, il s'agit de concevoir la spécificité de chacune des machines sur lesquelles viennent s'appuyer les forces mouvantes.

Troisième série d'obstacles, ce sont les obstacles d'objets. Si le levage, l'hydrostatique sont considérés comme scientifiques durant tout le 17^e siècle, la manœuvre des vaisseaux n'est intégrée à ce cadre que dans le dernier quart du siècle, et il faudra attendre un certain temps pour que les procédés artisanaux le soient, c'est-à-dire qu'ils puissent être compris comme susceptibles d'une naturalité, au sens d'une description par des lois naturelles. Bref, des objets scientifiques. Ce n'est qu'avec Amontons, semble-t-il, que le polissage du verre devient susceptible de cela, par exemple. Et si le projet de description des arts reprend en 1692/93 sous l'impulsion de Bignon, il ne donne pas forcément à voir un calcul du travail des opérations techniques, mais plutôt une description rationnelle et normée desdites opérations. C'est d'ailleurs là l'un des rôles que jouera la substitution : révéler tous les lieux, tous les objets, où la force motrice, où l'activité elle-même, peut être remplacée par une ou des machines au sens large. Cela signe la composante essentiellement mécanique de l'activité, et son caractère scientifique, au vu de l'épistémologie prégnante. Cette substitution est bien ce qui fonde le mémoire d'Amontons de 1699 que nous verrons au chapitre 2. En outre, c'est bien l'intérêt pour le monde du travail qui tend précisément à faire reculer ces obstacles d'objets pour tendre vers un indicateur unique de jugement des procédés productifs.

Enfin, il conviendrait de se demander *pourquoi* Amontons et Parent, même de manière limitée, en sont amenés à passer d'un effet statique, siège de l'équivalence des forces, à un effet laborieux mettant en scène mouvement, dépense et production. Nous différons la réponse,²³⁸ pour nous attacher à présent à comprendre *comment* le passage se fait. C'est l'objet du chapitre suivant.

²³⁸ Nous en apportons les principaux éléments dans le chapitre 5. A défaut d'expliquer la cause du passage de l'équilibre à une dynamique de processus, nous exposerons ce qui, à notre sens, en permet la possibilité.

Chapitre 2 PUISSANCE CONTINUELLE ET EFFET GENERAL : ANTECEDENTS DU TRAVAIL MECANIQUE DANS LES OEUVRES D'AMONTONS ET DE PARENT (1699-1714)

2.A. INTRODUCTION : UNE REALITE QUI N'EST PAS QUE MECANIQUE.

A l'aube du 18^e siècle, deux personnages, chacun très différent l'un de l'autre, s'illustrent plus particulièrement dans l'histoire du concept de travail mécanique : Guillaume Amontons (1663-1705), et Antoine Parent (1666-1716). Ce chapitre leur est consacré.

Pour saisir comment ces antécédents se créent, ce qu'ils recouvrent, et pourquoi on peut les qualifier d'antécédents du travail mécanique, nous exposerons et analyserons la pensée d'Amontons dans une première partie (2.B). On examinera particulièrement un mémoire de 1699, contenant l'étude théorique d'une proposition de moulin à feu, où il met en place un concept de *puissance continue*. Après avoir disséqué le mémoire afin de comprendre ce qu'est ce concept, on insistera sur l'originalité de la *puissance continue*, antécédent, à notre sens, du concept de travail mécanique. On soulignera ensuite comment Amontons est contraint de rompre avec les procédures statiques de la machine à l'équilibre, pour pouvoir caractériser la machine et l'animal en mouvement : il en vient dans cette optique à mesurer une force-pour-mouvoir qui intègre le mouvement et les frottements au sein même de sa mesure. Nous montrerons ensuite le caractère intrinsèquement anthropomorphique de son concept : d'une part, par la substitution, son concept doit permettre de réduire toute entité productive à un nombre d'hommes ou de chevaux, d'autre part les paramètres qu'il choisit sont les paramètres phénoménaux de la fatigue, et enfin vient se loger dans sa conception de l'effet une notion de consommation de force. Concernant ce dernier point, nous verrons alors la parenté qui existe entre sa conception de l'effet et la pensée leibnizienne. Nous parviendrons alors à voir comment se place le concept d'Amontons au sein de la question des frottements.

Nous examinerons ensuite plus particulièrement le caractère productif de la *puissance continue*, dont la raison d'être se place au sein d'une pensée de la production et d'une

problématique de maximisation de l'effet. On montrera la dimension pratique d'un tel concept, dont la finalité est d'être l'agent comptable du travail en acte d'un agent producteur, que celui-ci s'apparente à une force organique (hommes, animaux) ou non. Finalement la puissance continue est autant un lien qu'une réponse à deux questions, l'une économique, l'autre mécanique : qu'est-ce qu'on paye dans le fonctionnement d'un moteur (organique ou non), et comment intégrer cette question à une description mécanique de celui-ci ?

Nous nous attacherons ensuite à examiner le reste de l'œuvre d'Amontons se rapportant à des problématiques d'effet, notamment ses expériences de 1703. Nous constaterons alors que la notion de *puissance continue*, si elle répondait bien à la problématique de son moulin à feu, n'est dans la suite que faiblement mobilisée. Nous examinerons pourquoi.

Enfin, pour mieux saisir comment Amontons en vient à de telles problématiques et à son concept, nous le replacerons dans son contexte, en exposant les principaux résultats d'une enquête biographique que nous avons menée à son sujet, notamment à partir de sources manuscrites issues d'archives notariales. Nous verrons alors que son moulin à feu n'est en rien détaché de ses travaux d'ingénieur.

Nous en viendrons dans une seconde partie (2.C) à traiter le cas d'Antoine Parent, et plus particulièrement deux de ses mémoires présentés devant l'Académie Royale des Sciences, l'un de 1704, l'autre de 1714, dont le second ne fut d'ailleurs jamais publié. Nous commencerons par analyser dans le détail les méthodes de calcul mobilisées par le savant. Ces deux mémoires forment un tout puisque le premier a trait au plus grand effet des machines mues par un fluide en mouvement (roues hydrauliques verticales), et le second au plus grand effet des machines mues par les animaux (machines élevant des poids quelconques, machines sur terrain fixe remontant des bateaux, machines embarquées remontant des bateaux).

Nous mettrons en avant son concept de perfection, recouvrant dans l'esprit du savant ce que nous appellerions une démarche d'optimum, c'est-à-dire obtenir le plus d'effet possible avec le moins de dépense possible. On verra la différence de cette perfection, signant le maximum que l'on peut obtenir vis-à-vis de contraintes structurelles de la machine, d'avec la notion d'idéal utilisé plus tard, où le maximum théorique sera un rendement égal à 1 atteint par annulation des frottements.

L'indicateur qui doit servir à atteindre cette perfection est ce que Parent appelle *effet général*, et nous montrerons la filiation qu'entretient le travail mécanique avec un tel concept. Nous serons ainsi amené à cerner l'originalité de la force-pour-mouvoir au sens de Parent, qui

ne recouvre pas la même idée que la force-pour-mouvoir d'Amontons. Néanmoins, Parent en passe tout comme Amontons, bien que différemment, par une rupture avec les procédures d'équilibre qui prévalaient dans la machine statique. La machine en mouvement rend nécessaire de nouvelles conceptualisations, et les mesures utilisées pour la caractériser trouvent leur inspiration dans un monde de production, précisément celui où le mouvement de la machine, sa régularité, son caractère moteur, est indispensable à une description réaliste, c'est-à-dire permettant la prévision d'un effet. Et pas n'importe quel effet, mais un effet qui ait un sens dans une sphère productive, en l'occurrence le travail ou la puissance.

Si la construction de Parent est essentiellement mécanique, nous verrons néanmoins qu'il songe d'abord aux entrepreneurs. La recherche du maximum, par l'optimum, recouvre à la fois le domaine mécanique et économique. Les effets et les gains convergent à l'aune de l'effet général.

Nous mettrons alors en avant que Parent –mais il n'est pas le seul à son époque– dans une telle démarche de réduction de l'objet productif à l'empire du calcul mécanique permettant la prévision, pense une science de la technique, autrement dit une technologie. Nous verrons que le point nodal d'une telle description passe par un concept de travail. Parent cherche alors les lois naturelles des objets techniques et productifs, où l'essentiel n'est plus le jeu des forces entre elles sur le mode du duel, s'affrontant, s'annihilant, se surmontant, mais une logique de transmission au sein d'un système qu'il s'agit d'optimiser, au sens où ce qu'on obtient en sortie doit être la part structurellement maximale de ce qu'on a appliqué en entrée. Une logique productive. Nous verrons dans cette optique que la technologie n'est pas neutre. Elle intègre dans la définition même de ce qui la constitue des logiques d'optimisation, ouvrant la voie à la dépersonnalisation et au contrôle. Ce dernier aspect sera mis en avant dans un prochain chapitre à propos de Bélidor, où nous verrons ce qu'il advient des antécédents du travail mécanique.

Dans le dernier paragraphe de cette deuxième partie (2.C.e), nous tenterons d'expliquer le peu de résonance qu'eurent les mémoires de Parent jusqu'à leur réécriture par Pitot, et leur diffusion par Bélidor (cf. chapitre 3), à la fois par sa sociabilité savante défaillante, et le mode d'exposition de ses idées. Ces aspects, s'ils n'expliquent sans doute pas tout, sont cependant loin d'être anecdotiques.

Ainsi, le concept de travail mécanique, dès ses antécédents, s'agence dans une réalité complexe que la dimension mécanique n'épuise pas. Son émergence et sa légitimité sont aussi

à comprendre au sein des composantes sociales et économiques qu'il charrie. C'est cette réalité complexe que nous tentons de retracer ici.

2.B. LA "PUISSANCE CONTINUELLE" ET LE MOULIN A FEU DE GUILLAUME AMONTONS

C'est en 1699, fraîchement élu élève astronome après le "renouvellement" de l'Académie Royale des Sciences de Paris dont Bignon est le principal instigateur, qu'Amontons présente à l'assemblée l'étude d'un moulin à feu.²³⁹ Les rares auteurs modernes ayant cité le mémoire d'Amontons, certes ont toujours mis en avant l'originalité des idées avancées, mais n'ont jamais explicité dans le détail les considérations théoriques que notre auteur mettaient en place pour justifier de la possibilité de fonctionnement de la machine qu'il venait d'inventer sur le papier. Les citations sont toujours partielles, que ce soit pour montrer des antécédents de thermodynamique²⁴⁰, ou pour exposer les considérations économiques sous tendant le texte²⁴¹, ou encore pour mettre en avant l'originalité épistémologique des concepts mis en place²⁴². Il convient donc, pour bien s'imprégner de la pensée de l'auteur, et voir en quoi il se rattache à notre problématique, de se replonger au cœur de ce texte vieux de plus de trois siècles.

2.B.a. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Un "moulin à feu", comment ça marche, 65 ans avant la machine à vapeur de Watt ?
Illustrations et explications.

Les dimensions du moulin sont assez impressionnantes (Figure 18) puisque le diamètre total est de 30 pieds, c'est-à-dire presque 10 mètres, soit la hauteur d'un immeuble actuel de trois ou quatre niveaux ; dimensions cependant tout à fait réalisables pour la technique de l'époque lorsqu'on considère par exemple la puissante machinerie construite à Marly entre 1678 et 1685 par Arnold de Ville et Rennequin Sualem pour approvisionner les

²³⁹ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu"

²⁴⁰ TALBOT, G.R. & PACEY, A.J., " Antecedents of thermodynamics in the work of Guillaume Amontons", *Centaurus*, 16, 1971-1972, pp 20-40

²⁴¹ GRALL, *Economie de forces et production d'utilités*: 50-105

VATIN, *Le travail, économie et physique*: 19-20

²⁴² SERIS, *Machine et communication*: 192-210

grandes eaux de Versailles, composée à son premier niveau de 14 roues à aubes, chacune d'un diamètre de 12 mètres²⁴³.

Le principe du moulin peut être compris en examinant la Figure 19 et surtout la Figure 20²⁴⁴. BB représentant le fourneau, l'air de la cellule A est chauffé de sorte qu'en se dilatant, la pression se faisant plus forte, il pousse l'eau de la cellule 1, en empruntant le tuyau H. Les cellules communiquant entre elles par l'intermédiaire de soupapes, ne s'ouvrant que pour laisser passer l'eau de la gauche vers la droite, on voit simplement que l'eau, passant par la cellule 18, sera poussée dans la cellule 2. De la sorte se crée un contrepoids, et le système, entraîné par lui, commence à tourner dans le sens des aiguilles d'une montre pour retrouver l'équilibre. Suite à quoi la cellule A plonge dans l'eau, en se refroidissant, et c'est au tour de la cellule suivante de se placer dans le fourneau BB. Et ainsi de suite. Les justifications théoriques de réalisation d'un tel moteur prennent appui sur ses précédents travaux concernant les thermomètres et les propriétés de l'air qu'il en a tirées. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

Le moulin à feu d'Amontons, bien que non construit, s'attira cependant à son époque l'intérêt d'ingénieurs et d'hommes de sciences, tel que Bélidor qui le citera en ce termes en 1737 :

L'on trouve dans les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de l'année 1699, ce que Amontons a écrit sur ce sujet : il y propose une roue de Moulin extrêmement ingénieuse, qu'il démontre pouvoir être mûe par l'action du feu, fondé sur un grand nombre d'expériences, & sur des raisonnements qui ne laissent aucun doute du succès de cette roue, qu'il nomme Moulin à feu.²⁴⁵

Son rayonnement au-delà de son époque proche, ne fut cependant pas considérable, relégué par la science positiviste dans le fatras baroque d'un stade technologique tâtonnant. Ainsi Thurston, une référence en matière d'histoire de la machine à vapeur, n'en fera nulle mention dans son ouvrage²⁴⁶. On le trouve cependant chez Evans.²⁴⁷ A l'époque d'Amontons, son moulin attira l'attention de quelques savants, notamment Leibniz, car il recouvre certaines des préoccupations de celui-ci. Il est à comprendre dans la recherche de nouvelles sources d'énergie, que Huygens avait initié, suivi par Papin, et mis en œuvre à la même époque par

²⁴³ Cf. BLAY, MICHEL & HALLEUX, ROBERT (éd.), *La science classique, XVIe-XVIIIe siècle, Dictionnaire critique*, Paris, Flammarion, 1998: 586-587

²⁴⁴ Merci à Alexandre Chatelard d'avoir réalisé ces deux figures.

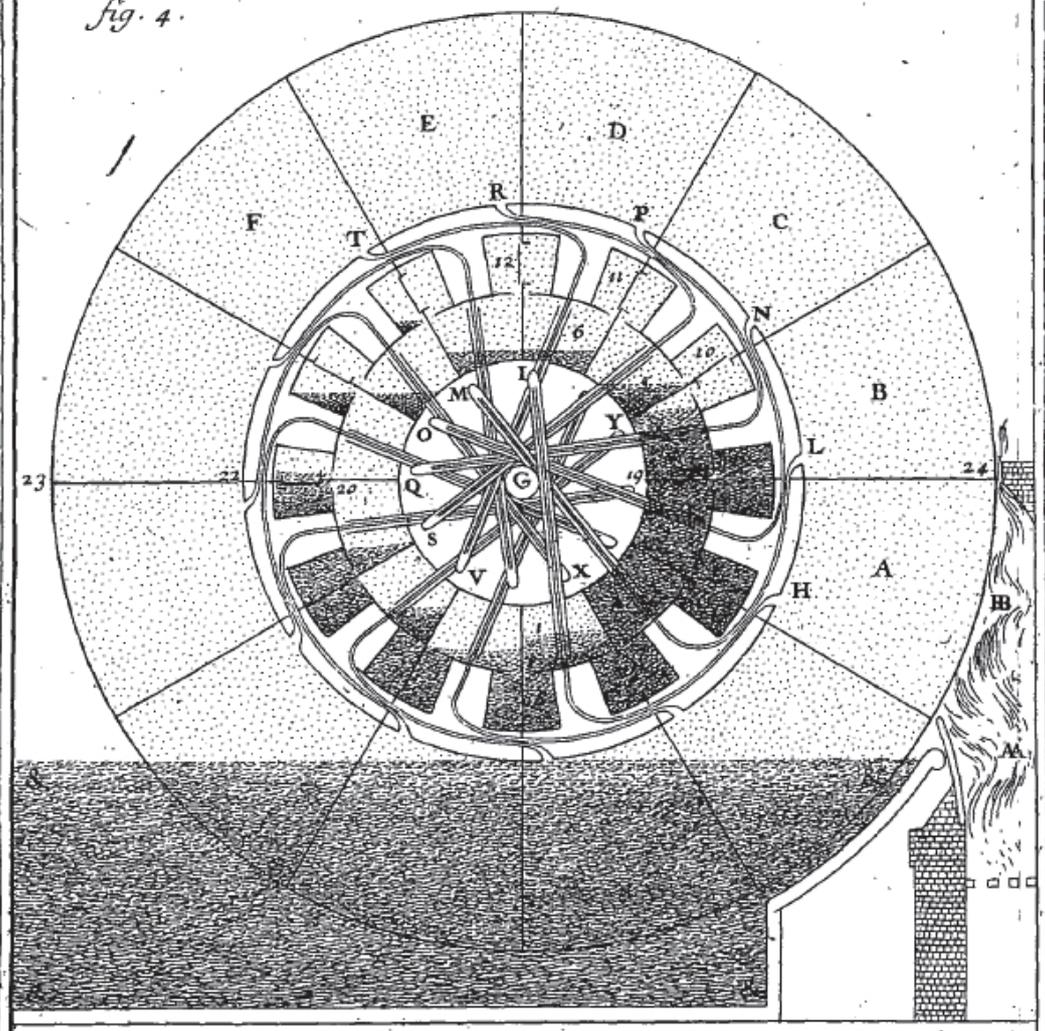
²⁴⁵ BELIDOR, BERNARD FOREST DE, *Architecture hydraulique, ou, l'art de conduire, d'élever et de menager les eaux pour les differens besoin de la vie*, 4 vols., Paris, Charles Antoine Jombert, 1737-1753

²⁴⁶ THURSTON, ROBERT H., *Histoire de la machine à vapeur*, revue, annotée et augmentée d'une introduction par J.HIRSCH, 2 vols., Paris, Germer Baillière et Cie, 1880

²⁴⁷ Evans O., *Young steam engineer's guide*, Philadelphia, 1805, cité par WISNIAK, JAIME, "Guillaume Amontons", *Revista CENIC Ciencias Quimicas*, 36, n° 3, 2005, pp 187-195: 195

MOULIN A FEU

fig. 4.



Le feu en B dilate l'air enfermé en A, et le faisant passer par le canal H I fait qu'en pressant la surface de l'eau en 1, la soupape 18, se ferme, et les Soupapes 7. 8. et 9, s'ouvrent pour laisser monter l'eau vers Y, et charger ce côté, ce qui fait mouvoir la roue sur son centre G, et succéder la cellule B, a la cellule A, pendant que cette dernière entre dans l'eau & pour faire revenir dans son premier état l'air quelle contient

Or il est démontré qu'en faisant Q 19, de 8. pieds, 20. 21. de 12, 22 L. de 18, et 23. 24. de 30, le tout sur une profondeur de 12. pieds, et que la chaleur en B soit égale, a celle de l'eau bouillante; ce moyen tient lieu de 39. chevaux.

Figure 17 : Moulin à feu de Guillaume Amontons, présenté en 1699 à l'Académie Royale des Sciences.

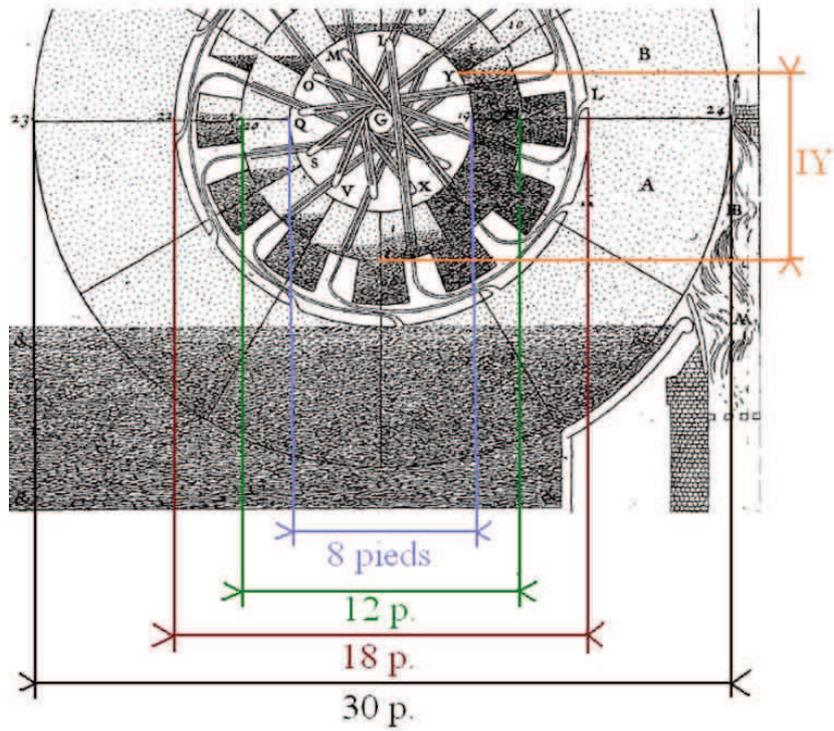


Figure 18 : Cotes du moulin à feu d'Amontons. La profondeur des cellules est de 2 pieds, et la longueur IY représente la hauteur d'eau.

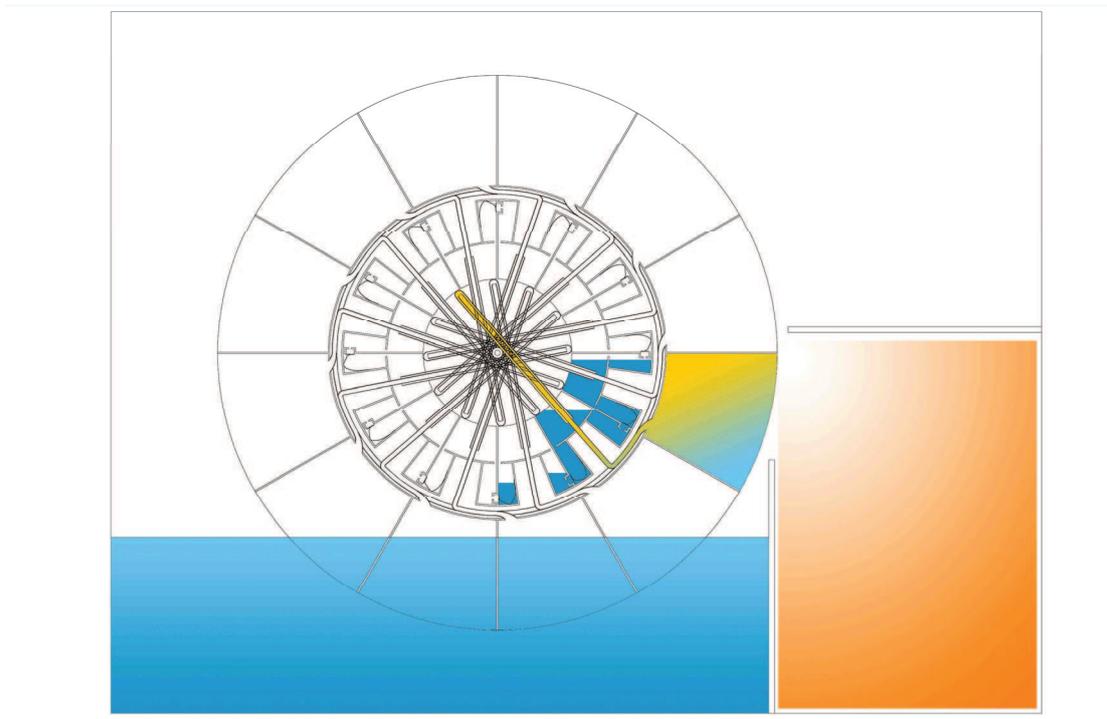


Figure 19 : Version réalisée informatiquement du moulin d'Amontons.

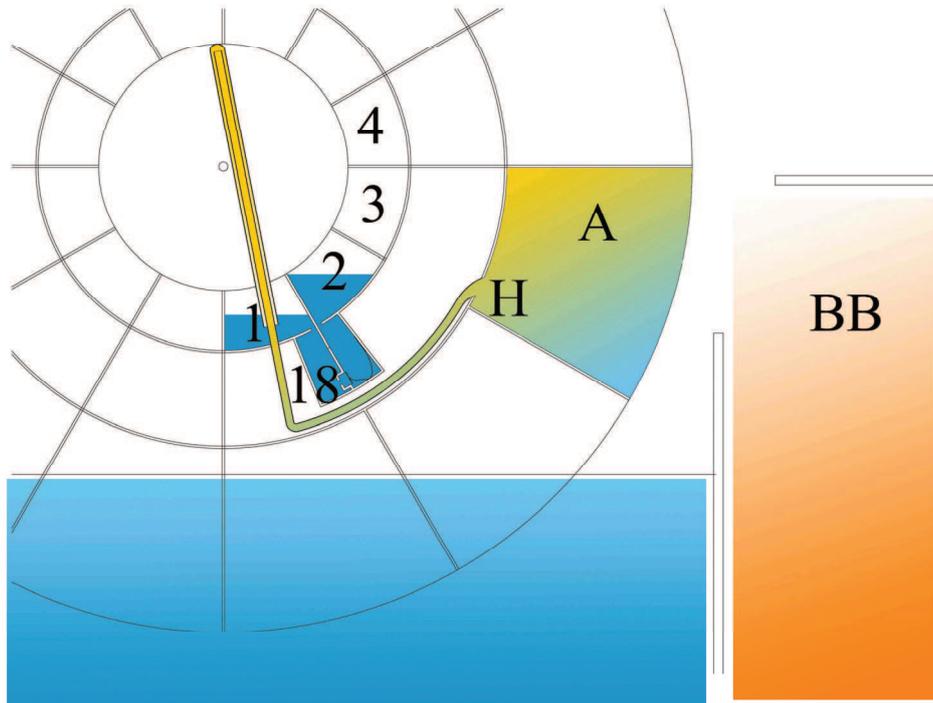


Figure 20 : Principe de fonctionnement du moulin d'Amontons.

Savery puis Newcomen, bien que sur des principes différemment notablement les uns des autres.

Amontons va alors justifier théoriquement de la réalisation d'un tel moulin. Voyons comment.

2.B.b. ASPECTS CALCULATOIRES

La présentation qualitative que nous venons de développer nous a permis de comprendre le principe de fonctionnement de l'engin, mais entrons à présent plus avant dans les détails. Première question : qu'est-ce qui fait dire à Amontons que la pression de l'air chauffé lui permettra à coup sûr de repousser l'eau jusqu'au point Y ? Et deuxième question : comment justifie-t-il le fait que son moulin puisse remplacer 39 chevaux ou 234 hommes ? La première question est l'objet du paragraphe suivant et la deuxième des deux d'après.

2.B.b.i QUELLE HAUTEUR D'EAU PEUT SOUTENIR DE L'AIR SOUS PRESSION ?

Le raisonnement que fait Amontons est le suivant. Déjà il faut savoir si l'air va bien repousser l'eau comme prévu. Rien de plus simple, il suffit de faire l'expérience pour notre ingénieur, qui ne s'embarrasse guère de philosophie, et nous serons alors fixé. C'est l'objet de la troisième et de la quatrième expérience²⁴⁸. Nous avons reproduit le schéma en Figure 21. De l'air est enfermé dans le baquet EBCF. Grâce à un robinet en A, on introduit de l'eau dans la partie AEFD. On met la partie EBCF dans l'eau bouillante pendant 6 secondes, et ainsi l'air augmente de pression et légèrement de volume. Par l'intermédiaire du tuyau G, qui débouche dans le tuyau IL, l'air entre au contact de l'eau. Sa pression plus forte va lui permettre de repousser l'eau, qui va monter dans le tuyau MN et être récoltée dans le baquet P. Au bout des 6 secondes, soit on retire simplement le baquet, soit on le met dans l'eau froide, et l'eau redescend à son précédent niveau en 300 secondes ou 18-20 secondes respectivement. La quatrième expérience procède du même protocole, mais cette fois-ci les tuyaux G et MN ont une longueur de 8 pieds, au lieu de 1 pied précédemment ; et pour chauffer l'air, on utilise d'abord, comme dans l'expérience troisième, de l'eau bouillante, puis on met le fond du baquet sur des charbons ardents.

Le résultat dans chacune de ces expériences est le même, à savoir que l'eau va monter dans les tuyaux, à proportion du temps de chauffage. Mais la chaleur du feu, quand elle est appliquée directement au fond du baquet EBCF, permet d'obtenir une pression plus importante que par la seule action de l'eau bouillante.

L'expérience, surtout qualitative ici, était destinée à prouver que l'eau serait effectivement repoussée par de l'air sous pression.

Une fois cela prouvé, comment peut-on calculer la hauteur effective de la colonne d'eau que l'air sous pression sera capable de supporter ? Cette question est moins simple qu'il ne peut y paraître au premier abord. En effet, signalons que tout ce que l'on connaît à l'époque, c'est la loi de Boyle-Mariotte (selon l'appellation moderne), c'est-à-dire que $P.V = k$, avec P la pression, V, le volume, et k une constante. Mais cette équation n'est valable qu'à température constante. Or dans le cas qui nous occupe, nous allons chauffer un récipient d'air, et donc il est bien évident que la température variera. On sait également qu'un volume chauffé se dilate, à pression constante. La pression, la température et le volume étant trois variables

²⁴⁸AMONTONS, "*Moyen de substituer commodément l'action du feu*": 117-119

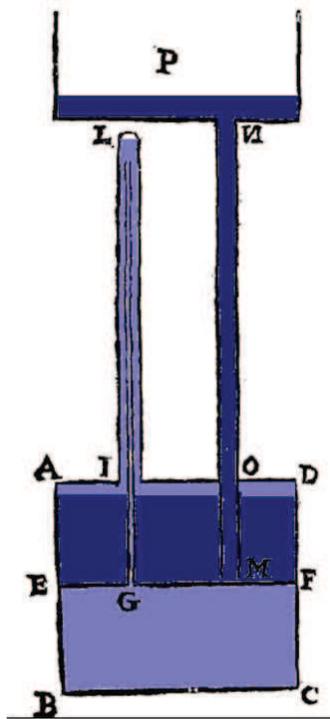


Figure 21 : Troisième expérience d'Amontons. L'air (en clair) est enfermé dans le baquet EBCF, et l'eau (en foncé) dans AEFD. L'air chauffé va faire remonter l'eau dans le baquet P.

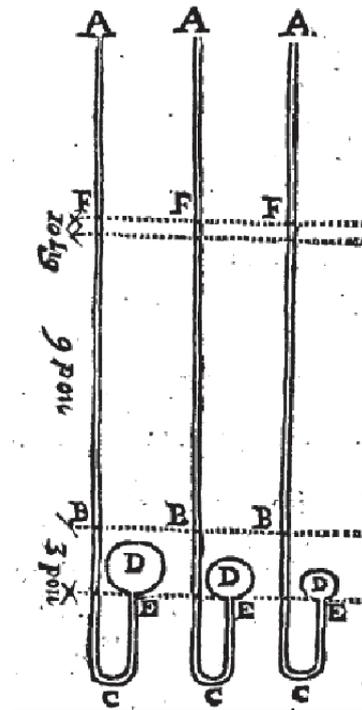


Figure 22 : Première expérience. De l'air est présent dans les sphères D, et on a disposé du mercure dans les tubes A. Les sphères sont ensuite mises dans de l'eau bouillante.

interdépendantes, et ne connaissant pas l'équation qui les relie²⁴⁹, Amontons est contraint de procéder en trois étapes, que nous allons décrire. Notons au passage qu'il n'est pas forcément évident de comprendre cela à la simple lecture du mémoire, qui bien que très structuré apparaît quelque peu brouillon par certains côtés pour le lecteur moderne que nous sommes.

Première étape. Amontons va d'abord considérer que pour une masse d'air donné, le volume reste constant. Revenons à la première expérience qu'il effectua dans ce mémoire²⁵⁰. Elle consiste à remplir de mercure un tuyau, dont une extrémité est en contact avec l'air extérieur, et dont l'autre est reliée à une sphère remplie d'air. Deux autres tuyaux sont disposés de la sorte, la différence venant du fait que les sphères ont une capacité respectivement de 2/3 et 1/3 de la première (Voir Figure 22). Le mercure se trouve initialement en B, c'est-à-dire à une hauteur de 3 pouces (8,1 cm) au dessus du niveau de l'entrée des sphères E. Il s'agit donc simplement d'un baromètre mesurant la pression de l'air

²⁴⁹ A savoir $P.V = n.R.T$ Avec P la pression, V le volume, T la température, n le nombre de moles, et R une constante valant 8,31 Joule/mole . degré

²⁵⁰ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu": 113-115.

enfermé dans la sphère, pression traduite directement en hauteur de mercure. Les sphères sont ensuite disposées dans un chaudron rempli d'eau bouillante, et le mercure monte progressivement jusqu'à la hauteur de 9 pouces 10 lignes (en F) au dessus de son niveau initial, qu'Amontons approxime à 10 pouces. Considérant ensuite que le mercure a une densité 14 fois plus importante que l'eau, il peut traduire l'élévation de mercure en élévation d'eau, en multipliant les 10 pouces par 14. Ce qui donne 140 pouces, soit 11 pieds et 8 pouces (soit environ 3m80). Le poids dépendant en effet du volume considéré (donné simplement par le produit de la section du tuyau par la hauteur de liquide), il ne dépendra que de la hauteur, vu que la section du tuyau reste la même. Et de toute manière, quelque soit le tuyau, la pression exercée en un point ne dépend que de la hauteur de liquide présente au dessus de ce point (phénomène connu sous le nom de "paradoxe" hydrostatique). Amontons arrive donc à la conclusion (3^e corollaire de son expérience, page 114) que *"la chaleur de l'eau bouillante n'augmente la force du ressort de l'air que jusqu'à lui faire soutenir environ le poids de dix pouces en hauteur de mercure, ou de onze pieds huit pouces d'eau plus que le poids de l'atmosphère"*.

Voilà un point acquis. Néanmoins, on a considéré dans cette expérience que le volume est quasiment constant, ce qu'il ne sera pas dans la réalité du moulin. Le volume va en fait se dilater, et donc d'après Mariotte et sa formule $P.V = \text{constante}$, si V augmente, P diminue. Et si P diminue, cela se traduit directement par une moindre capacité à porter une colonne d'eau.

La deuxième étape consiste donc à savoir à quelle diminution de pression (c'est-à-dire à quelle diminution de hauteur d'eau) correspond une augmentation de volume donnée, mais cette fois-ci à température constante, pour pouvoir utiliser les résultats de Mariotte. Il se place dans des conditions où le volume de l'air que l'on chauffe est contraint à ne pouvoir se dilater que de 1/7 (5^e corollaire de sa première expérience, page 115), car dans son moulin, le volume des petites cellules (par exemple 1, 2, 3, voir la Figure 20 plus haut) est seulement le 1/7 du volume de la cellule A. Il calcule que la dilatation de l'air lui fait perdre du "ressort" équivalent à 66.5 pouces (5 pieds 6 pouces et 6 lignes) en hauteur d'eau. En effet, considérant que la hauteur soit de 38 pouces lorsque le volume d'air est exprimé par le nombre 7, si on augmente ce volume de 1/7, c'est-à-dire jusqu'à 8, et en appliquant la loi aujourd'hui connue sous le nom de Boyle-Mariotte, à savoir $P.V = k$ (avec k constant, à température constante), il vient :

$P_1.V_1 = P_2.V_2$ (avec les indices ₁ pour le volume et la pression initiaux, et les indices ₂ pour les finaux).

Donc $P_2 = P_1 \cdot (V_1/V_2)$.

Comme on exprime les pressions directement en termes d'élévation de mercure, il suit $P_2 = 38 \cdot (7/8) = 33.25$ pouces de mercure. Donc en se dilatant, l'air a perdu un ressort équivalent à $38 - 33.25 = 4.75$ pouces en hauteur de mercure, ce qui équivaut (en multipliant par 14) à 66.5 pouces en hauteur d'eau, c'est à dire 5 pieds 6 pouces et 6 lignes. Cette hauteur devra donc être retirée des 140 pouces initiaux (11 pieds 8 pouces). Donc de l'air chauffé et se dilatant de 1/7 de son volume peut supporter une colonne d'eau égale à :

140 pouces (hauteur supportée quand le volume ne change pas) – 66.5 pouces (hauteur perdue du fait de la diminution de pression consécutive à la dilatation du volume) = 73.5 pouces.

Troisième étape. Il faut procéder à un ajustement technique, puisque quand l'air se dilate, il en vient à occuper la place qui était précédemment occupée par le mercure ou l'eau. Si on ne corrige pas ce défaut on compterait comme augmentation de la pression ce qui n'est en fait qu'une élévation du niveau de l'air. Faisant référence à des expériences de Mariotte²⁵¹, il faut donc considérer que sur cette hauteur de 11 pieds 8 pouces, 10.5 pouces sont dus à la dilatation de l'air. Il faut donc les retirer du résultat précédent.

$73.5 - 10.5 = 63$ pouces soit 5 pieds et 3 pouces.

Donc dans les conditions décrites, l'air chauffé et sous pression peut supporter une hauteur de 5 pieds 3 pouces. Amontons quant à lui trouve 5 pieds 3 pouces et 2 lignes, ayant sans doute donné pour les intermédiaires de calcul des valeurs approchées, mais ayant considéré pour son propre calcul les véritables valeurs. C'est du moins notre hypothèse.

Toujours est il qu'à présent nous avons une valeur exacte de la hauteur d'eau que l'air peut supporter, et la construction doit être faite de manière à ce que ce qu'elle ne soit jamais supérieure, sous peine de voir le moulin s'arrêter. Donc sur la Figure 18, il faut que la hauteur IY ne dépasse pas cette valeur. C'était la réponse à notre première question (*quelle hauteur d'eau peut soutenir de l'air sous pression ?*).

C'est bien cependant la deuxième question qui nous intéresse plus spécifiquement ici, à savoir : *comment détermine-t-il que l'effet du moulin équivaut à celui de 39 chevaux et 234 hommes ?* C'est cette question qui va amener ce que nous n'hésitons pas à appeler une véritable rupture épistémologique de la pensée de la machine. Deux étapes dans ce processus, la première issue de la statique, pour savoir quelle sera la force résistante du moulin, et la

²⁵¹ Guillaume AMONTONS, *Moyen de substituer...*, p. 124.

seconde fondée sur des considérations pragmatiques d'ingénieur, c'est-à-dire la détermination d'une mesure de l'effet de la force, du travail, des hommes et des chevaux, et d'une méthode pour y parvenir.

2.B.b.ii QUELLE EST LA FORCE DU MOULIN ?

Voilà une question à la portée de la statique de l'époque. Examinons-la. Elle fait l'objet du *Problème* page 122-123 des *Mémoires*, et d'une partie de la page 125. Dans le *Problème*, Amontons cherche à déterminer quelle "*force résistante*", appliquée sur la circonférence d'une roue verticale donnée, est nécessaire pour faire équilibre à un nombre quelconque de poids situés sur le quart inférieur droit de cette roue. Son résultat général trouvé en cette occasion est appliqué directement page 125 de son *Mémoire*, mais sans aucun détail de calcul ni mention des données utilisées pour celui-ci. Pour bien comprendre comment Amontons fait cette application, il faut déjà énoncer les hypothèses qu'il ne prend pas la peine de poser explicitement. Il est nécessaire, en effet, premièrement d'avoir à la conscience qu'il va considérer que son moulin tourne grâce à seulement 3 petites cellules pleines d'eau semblables aux cellules 2,3,4 de la Figure 20, c'est-à-dire le quart des cellules totales (Amontons ne le dit pas explicitement, se contentant d'utiliser le facteur $\frac{1}{4}$ dans ses calculs). Il ne peut pas considérer que les cellules du dessus soient remplies car sinon la hauteur totale d'eau dépasserait les 5 pieds 3 pouces 2 lignes dont il a été question dans le paragraphe précédent, et le moulin s'arrêterait. Secondement, il considère implicitement que les points où s'exercent le poids P de chaque cellule sont les points B,D,E sur la Figure 23.

Cette dernière ne figure pas tel quel chez Amontons : elle nous sert simplement à comprendre le calcul de l'application de sa solution générale à sa roue. Nous affirmons qu'Amontons considère que le poids de chaque cellule s'exerce aux points B, D, E, car ses résultats correspondent aux résultats trouvés à partir de cette hypothèse. Le cercle représenté sur cette figure est celui passant par le milieu de chaque petite cellule 1,2,3,4... de la Figure 20. Toujours sur celle-ci, P_A est la "*force résistante*" que nous avons mentionné plus haut (c'est-à-dire le poids à exercer en A pour faire équilibre aux trois cellules pleines d'eau), et dont il s'agit de déterminer l'intensité. Comment ?

Nous allons immédiatement répondre à cette interrogation, mais en précisant tout d'abord que dans la suite, nous allons traduire le propos de notre auteur dans le langage des

théories actuelles de la statique. Il ne s'agit pas de trahir l'auteur ou de faire de l'histoire rétrospective ici, mais uniquement d'une traduction.

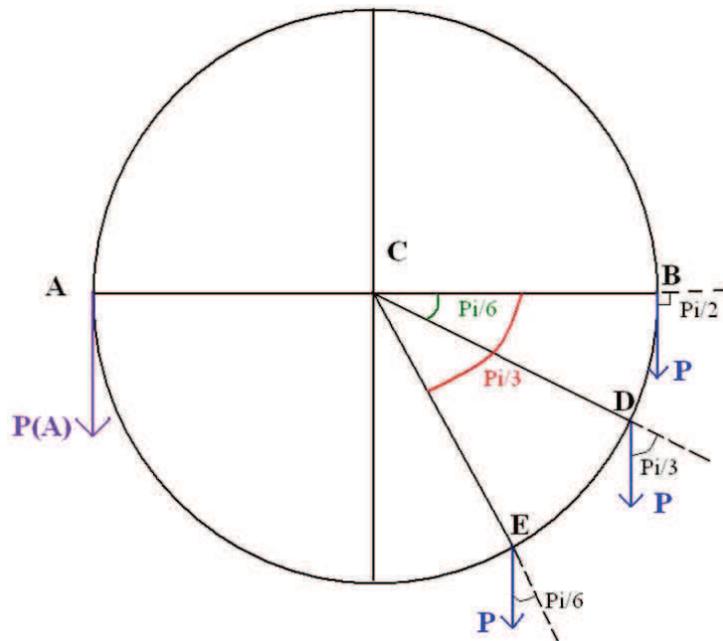


Figure 23 : Considérations géométriques servant au calcul de la “force” du moulin à feu.

Entamons donc la lecture ainsi traduite du *Problème* et de l'application qu'en fait ensuite notre académicien. Il va considérer, sans le préciser, le barycentre des trois cellules, dont nous avons dû retrouver la disposition par tâtonnements. Il s'agit donc pour qu'il y ait équilibre des masses qu'il y ait équilibre des moments des forces. Trouvons tout d'abord le barycentre des trois points B,D,E. Pour cela rien de plus simple, la position nous est donnée par :

$$\vec{CG} = \frac{\sum_i m_i \cdot \vec{CX}_i}{\sum_i m_i}$$

avec G le barycentre, X_i les points B, D, E, et m_i les masses des trois points, qui sont bien identiques entre elles. Ce qui nous donne :

$$\vec{CG} = \frac{m \cdot (\vec{CB} + \vec{CD} + \vec{CE})}{3 \cdot m}$$

Calculons à présent le moment de la force appliqué au barycentre :

$$\vec{M}_G = \vec{CG} \wedge \vec{P}_{TOTAL} = \frac{(\vec{CB} + \vec{CD} + \vec{CE})}{3} \wedge \vec{P}_{TOTAL}$$

Et le moment de la force appliquée en A :

$$\vec{M}_A = \vec{CA} \wedge \vec{P}_A$$

Ces deux quantités doivent être égales, et donc il vient, après application de la définition du produit scalaire, et en appliquant numériquement le résultat :

$$\frac{P_{TOTAL}}{P_A} = \frac{1}{3} \cdot \left[\sin \frac{\Pi}{2} + \sin \frac{\Pi}{3} + \sin \frac{\Pi}{6} \right] = 0,789$$

Ce qui est très proche de la valeur de 11/14 (=0,786) donnée par notre académicien (page 125), valeur, comme nous l'avons dit, donnée tel quel, sans exposé explicite des données particulières de son application. Cette identité des résultats nous confirme donc que la disposition que nous avons prise pour les cellules correspond bien à la disposition qu'Amontons considère lui-même, sans prendre le temps de nous en informer. Maintenant que nous avons un rapport, il nous suffit de savoir quel est le poids de l'eau P_{TOTAL} , pour connaître le poids qui fera équilibre à celui-ci. Amontons le donne égal à 12000 livres, d'où le poids appliqué en A égal à

$$11/14 \cdot 12000 = 9428 + 4/7 \text{ livres.}$$

Mais pour que notre moulin tourne, il faut que le poids de l'eau lui soit supérieur. En considérant que trois cellules sont pleines d'eau, il suffit de calculer leur volume, c'est-à-dire $188 + 4/7$ pieds³, et de multiplier ce nombre par le poids d'un pied³ d'eau (soit 70 livres), ce qui nous donne 13200 livres. Les 1200 livres supplémentaires sont comptées pour venir à bout des frottements inévitables et mettre en mouvement la machine.

Conclusion : *"l'effet de ce mouvement peut être réputé de 9428. 4/7"*²⁵².

2.B.b.iii COMMENT OBTENIR UNE MESURE DE L'EFFET DE LA FORCE DU MOULIN ?

2.B.b.iii.1 MISE EN PLACE DE LA MESURE DU TRAVAIL D'UN CHEVAL

Voilà toutes les études théoriques achevées, et c'est maintenant que tout devient passionnant pour notre problématique. Car pour justifier de la construction de son moulin à feu, Amontons invite ses contemporains à considérer qu'il est à même de se substituer à pas moins de 234 hommes ou 39 chevaux, et ce pour un prix bien moins élevé. Mais comment

²⁵²AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu": 125.

procède-t-il ? Et pourquoi cette “force”, équivalente à un poids soulevé, ne suffit pas pour comparer les effets des différentes entités ? L’examen de ces questions va nous en apprendre beaucoup sur la conceptualisation de la force de notre auteur, qui l’utilise sous trois termes : la “force” proprement dite, la “*puissance continue*”, et le “travail”.

Il convient déjà de remarquer que pour Amontons, *comparer des forces est très différent de comparer le travail des hommes*. Qu’une machine ou un cheval soit capable d’une “force” équivalente à l’élévation d’un poids de 100 livres, soit, mais cet équivalent en poids, est parfaitement insuffisant pour comparer le travail des hommes et des chevaux, précisément parce qu’il ne donne aucune idée de l’effet que cette force exercée va produire. En effet, cette “force” ne contient pas en elle-même l’information de la *vitesse de production*, du temps passé à la réaliser ou de la distance parcourue.

Il lui faut trouver une mesure pertinente et commune pour comparer son moulin et les êtres animés, d’après le “travail” qu’exercent ces entités, et qui permette d’intégrer le temps de production et la distance parcourue. Il amènera cette mesure presque implicitement dans la cinquième expérience²⁵³, puis beaucoup plus explicitement dans la sixième²⁵⁴.

La cinquième expérience a pour but de déterminer quel est le travail d’un cheval. Pour ce faire, Amontons nous invite à examiner une machine pouvant être mue par la poussée de leviers, aussi bien par des hommes que par des chevaux. La machine n’est pas autrement explicitée, mais on peut penser qu’il s’agit par exemple d’une roue horizontale que les êtres dont il est question vont animer d’un mouvement circulaire. Amontons part d’une hypothèse, qui est que la force d’un homme dans ces conditions est de 200 livres, et comme il en faut 5 pour mouvoir la machine, le total est de 1000 livres. C’est une hypothèse opératoire de sa part, elle lui sert comme premier équivalent, mais il ne s’en contentera bien évidemment pas et reviendra dessus plus loin.

Il faut donc tenir compte, comme nous venons de le dire, du temps pendant lequel notre cheval ou notre homme peut travailler, et la distance qu’il va parcourir pendant ce temps effectif de travail. Il calcule alors qu’un cheval dans l’entreprise considérée ne travaille que 6 heures sur 24, et encore par tranches de 3 heures ou d’une heure et demie, car le travail semble trop épuisant pour être poursuivi plus longtemps. A présent, quelle distance parcourt-il

²⁵³ *Ibid.*: 119-120.

²⁵⁴ *Ibid.*: 120-122

pendant ce temps ? Réponse : 6 lieues²⁵⁵ environ. Notons un point intéressant : les chevaux sont observés pendant trois mois, mais meurent des suites de l'exercice. Nous formons l'hypothèse que ceci a une double fonction : dans la comparaison de son moulin avec des chevaux, il pourra ainsi donner une estimation de chevaux basse, et ainsi ne pas être accusé d'exagérer les possibilités de son moulin ; ensuite ses résultats paraîtront plus impressionnants si l'on sait que le moulin peut remplacer non pas 39 chevaux ordinaires mais 39 chevaux travaillant à marche forcée.

Tous les éléments sont alors prêts pour amener Amontons à inventer une mesure représentative de l'effet de la force des chevaux. La mesure qu'il choisit est celle d'un poids soulevé sur une certaine distance, pendant un intervalle de temps normalisé à une heure. L'équivalent de 1000 livres soulevées, est mu par 4 chevaux en même temps, faisant une lieue par heure. Donc chaque cheval exerce une force de $1000/4 = 250$ livres, et fait une lieue par heure. Cependant ces chevaux ne travaillent qu'un quart de la journée, et donc les 250 livres doivent être divisées par 4 (=62,5 livres, ce que Amontons va approximer à 60 livres), ce qui permet à notre auteur d'aboutir à la conclusion qu'un cheval tient lieu "*d'une puissance continue de soixante livres faisant une lieue par heure*" (première conclusion de la cinquième expérience, page 120).

Et ceci occasionne des frais, qu'Amontons ne se contente pas d'énoncer mais qu'il calcule avec un souci de précision montrant sa formation d'ingénieur. Considérant qu'il faut 4 chevaux travaillant en même temps pour mouvoir la machine, pendant seulement 6 heures, 16 chevaux par jour seront nécessaires si l'on veut un travail ininterrompu. Il calcule alors le prix des bottes de foin, du maréchal ferrant, des ouvriers, etc., pour parvenir à l'estimation du coût de cette force productive (cf. *infra*).

2.B.b.iii.2 MESURE DU TRAVAIL D'UN HOMME

La sixième expérience a pour but de déterminer exactement quel est le travail d'un homme. Et pour parvenir à son but, notre savant et ingénieur va utiliser le travail réalisé par les polisseurs de verre. Pourquoi diable ce métier particulier ? C'est ce que nous allons comprendre en décrivant en quoi consiste leur ouvrage.

²⁵⁵ De 1674 à 1737, la lieue de Paris représente 2000 toises, soit 3, 898 km. La toise était d'environ 6 pieds, soit 1, 949 m.

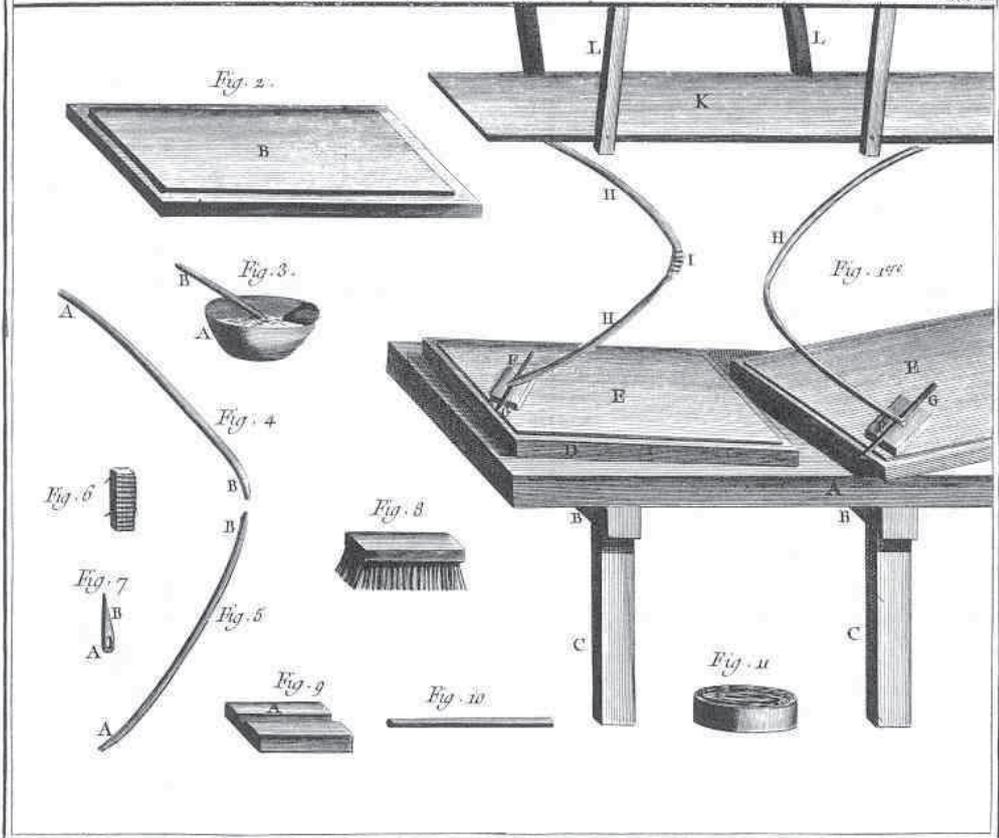
La description qu'en fait Amontons n'est pas évidente à comprendre si on ne sait pas déjà de quoi on parle. Un petit dessin valant toujours mieux qu'une longue explication, nous sommes allés chercher, dans les recueils de planches de l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert²⁵⁶, une illustration de la chose (Figure 24), faisant l'hypothèse que, même un demi-siècle après, le travail ne devait pas avoir changé. Au vu de la planche, cette hypothèse est confirmée, puisqu'elle correspond tout à fait à la description d'Amontons. L'ouvrage du polisseur est très simple. Il est constitué d'un établi sur lequel l'ouvrier pose la glace, et d'un support fixe accroché au plafond. On prend ensuite une flèche de bois que l'on recourbe, et on fixe une des extrémités au plafond, et l'autre à un bout de bois posé sur la glace, de sorte que la flèche de bois exerce de par sa tension consécutive à son recourbement, une pression verticale sur la glace. Le travail de l'ouvrier consiste à effectuer un mouvement de translation de ce bout de bois, afin que toutes les parties de la glace subissent successivement la même pression verticale, ce qui tendra à égaliser la surface.

Bref tout ceci est fort simple et l'action de l'ouvrier dans son mouvement de translation va simplement consister à vaincre les frottements de son polissoir sur la glace. Et c'est là qu'apparaît la raison essentielle pour laquelle Amontons choisit précisément ce corps de métier et pas un autre. C'est que "*la simplicité de cette machine fait que toute la force de l'Ouvrier est uniquement employée à expédier son travail*"²⁵⁷. Il existe donc une identité stricte, du fait de la conception de la machine, entre la force de notre homme et les frottements surmontés. Donc en mesurant les frottements, on aura une mesure de la force de notre homme.

Ensuite, en mesurant quelle distance il fait parcourir à son polissoir et le temps mis pour cela, Amontons pourra calculer, comme pour les chevaux précédemment, la mesure de l'effet de la force de l'ouvrier. Alors comment mesurer les frottements dans cette machine ? Il suffit d'accrocher une corde au polissoir (c'est-à-dire au bout de bois précédemment évoqué), et d'accrocher cette corde à un peson, qu'on appellera un siècle après un dynamomètre, et qui peut servir notamment à mesurer le poids de marchandise sur les marchés. Un tel objet est constitué d'un ressort, et la dilatation de ce ressort traduit directement en termes de poids la force appliquée à l'extrémité du ressort. Amontons tire donc sur le polissoir par l'intermédiaire de son peson, jusqu'à ce que la force que notre homme exerce soit supérieure

²⁵⁶DIDEROT & D'ALEMBERT (éd.), *Planches: 4, Manufactures des glaces, XXXXII*

²⁵⁷AMONTONS, "*Moyen de substituer commodément l'action du feu*": 120



Glaces, Le Poli.

Figure 24 : Poli des glaces, tiré de l'Encyclopédie

aux frottements et donc que le polissoir bouge. Il remarque qu'il faut 25 livres pour cela..

C'est ce que Sauveur appellera douze ans plus tard une *puissance physique* par opposition à une *puissance mathématique*, et qui n'est autre que la différence entre une situation avec et sans frottements, entre une force-pour-mouvoir vs force-pour-soutenir.²⁵⁸ En effectuant des mesures sur d'autres polissoirs du même atelier, de différentes surfaces, Amontons constate que cette force est sensiblement la même pour tous ces polissoirs si la tension de la flèche de bois est la même. Il ne lui reste alors plus qu'à constater que l'ouvrier fait faire un aller retour à son polissoir, c'est-à-dire 3 pieds, en une seconde. Donc pendant l'activité normale des ouvriers, "*leur travail équivaut à l'élévation continue d'un fardeau de 25 l. à trois pieds par seconde*"²⁵⁹, c'est-à-dire 25 livres à 10800 pieds (=0,9 lieue) par heure.

Mais n'oublions pas que l'effet de la force de l'ouvrier pour Amontons correspond à la "puissance continue" à laquelle cet ouvrier pourrait poursuivre son activité pendant la journée entière. Comme le pauvre artisan ne peut tout de même pas travailler 24 heures par jour, il ne faut considérer que son temps de travail effectif. Amontons calcule donc le temps réel passé sur le polissoir, faisant encore preuve de minutie, et nous apprend qu'un ouvrier commence à 5 heures du matin pour finir à 7 heures du soir, soit 14 heures de présence sur son lieu de travail, mais qu'il en utilise 2 pour manger, pendant les pauses qui lui sont accordées, au rythme d'une toutes les trois heures. Mais de ces douze heures, il n'en passe que dix à polir, puisque de temps en temps il regarde son ouvrage, ou bien il brosse son polissoir, ou encore il fixe la glace à l'établi ou la retourne. Pour le calcul, Amontons procède d'abord en considérant qu'un ouvrier travaille douze heures, et donc qu'il en faut deux pour poursuivre un tel travail toute la journée. La puissance continue de chaque ouvrier est alors réduite à 12,5 livres faisant 0.9 lieue par heure. Mais comme l'ouvrier ne travaille que 10 heures, et pas 12, ce qui correspond à un temps de travail égal à 5/6 de 12, il faut multiplier la précédente valeur de la puissance continue par 5/6. Conclusion : "*un homme seul ne tient lieu que d'une puissance continue de 12 l. ½ faisant ¾ de lieue par heures*", et il précise "*c'est-à-dire, environ la sixième partie du travail d'un cheval.*"²⁶⁰ Cette précision lui est désormais accessible, puisqu'il a tour à tour mesuré la puissance continue d'un cheval, et celle d'un homme. En effet puisqu'à chaque fois les puissances sont exprimées pour un temps

²⁵⁸ PVARS: 30, 1711, 101 r°

²⁵⁹ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu": 121

²⁶⁰ Ibid.

d'une heure, il suffit de prendre le produit 60 (pieds) par une (lieue), et de le diviser par le produit de $12 \frac{1}{2}$ (livres) par $\frac{3}{4}$ (de lieue), pour avoir le rapport des puissances continues d'un cheval et d'un homme.

$$(60 \times 1) / (12 \frac{1}{2} \times \frac{3}{4}) = 6.4.$$

Donc la capacité de *travail* d'un cheval est environ six fois celle d'un homme.

2.B.b.iii.3 DETERMINATION DU TRAVAIL DU MOULIN A FEU

Tout est enfin en place pour parvenir à l'estimation de la puissance continue du moulin à feu qu'il nous propose de construire. Rappelons notre résultat : la "force" du moulin est de $9428 + \frac{4}{7}$ livres. Si le moulin faisait une lieue à l'heure, comme le fait le cheval, alors il suffirait de diviser la précédente valeur par 60 (puisque la puissance continue d'un cheval est de 60 livres faisant une lieue à l'heure). Le travail du moulin équivaldrait donc à celui de 157 chevaux. Sauf que la vitesse de la roue n'est pas d'une lieue à l'heure. Notre moulin fait une révolution en 36 secondes, et la circonférence de la roue est égale à peu de choses près à 30 pieds, si nous envisageons comme nous l'avons fait pour le calcul de la force du moulin, que les forces résistantes et motrices sont appliqués sur le cercle passant au centre des petites cellules 1,2,3 (voir Figure 20) Il est en effet alors facile de voir avec les côtes du moulin (Figure 18) que le rayon que l'on prend pour le calcul de la circonférence est de 5 pieds. Amontons calcule donc la formule par $2 \cdot \Pi \cdot \text{Rayon} = 2 \cdot \Pi \cdot 5 = 31,4$ pieds, qu'il va approximer à 30 pieds. 30 pieds en 36 secondes, ce qui nous fait :

$$30 \cdot 100 = 3000 \text{ pieds en une heure} = \frac{1}{4} \text{ de lieue par heure,}$$

puisque'il y a 100 fois 36 secondes en une heure, et 12000 pieds dans une lieue. On obtient alors que le moulin à une puissance continue égale à $9428 \frac{4}{7}$ de livres faisant $\frac{1}{4}$ de lieue par heure. Or on vient de montrer que si le moulin avait une puissance continue de $9428 \frac{4}{7}$ de livres faisant une lieue à l'heure, il équivaldrait à 157 chevaux. Il va 4 fois moins vite, donc il équivaut à 4 fois moins de chevaux, c'est-à-dire $157/4 = 39$ chevaux environ. Et comme 6 hommes égalent un cheval, il faut pour réaliser le même travail qu'un moulin à feu $39 \cdot 6 = 234$ hommes. "*Il suit que ce moïen tiendroit encore lieu de 39. chevaux, ou de 234. hommes.*"²⁶¹

²⁶¹ Guillaume AMONTONS, *Moyen de substituer...*, p. 125

2.B.c. FORCE-POUR-SOUTENIR ET FORCE-POUR-MOUVOIR : LA RUPTURE AVEC LA PENSÉE DE L'ÉQUILIBRE

La rupture de concept qu'introduit Amontons par rapport aux auteurs de son époque est donc visible. La notion de "puissance continue" implique une rupture avec l'équilibre. Entendons-nous bien : Amontons raisonne toujours à l'intérieur de ce qu'il connaît, c'est-à-dire d'un cadre théorique cartésien où la statique est bien présente. Pour preuve, lorsqu'il calcule la "force" que son moulin peut soulever, il fait appel au principe de l'équilibre. A cette date d'ailleurs, il n'a pas encore développé ses travaux sur le frottement, même s'il les a remarqués (cf. infra). C'est à l'intérieur même du concept d'effet, de *puissance continue* qu'il faut chercher la rupture. L'effet n'est plus simplement un poids soutenu, ce n'est plus une vitesse, ce n'est plus même la considération stérile d'un poids qu'on élève à telle hauteur ou à telle vitesse. L'effet pour Amontons, la *puissance continue*, c'est bien plus que ça. Il n'est plus dans un registre d'équivalence comme chez Descartes, ni même de conservation comme Leibniz. Il s'agit de concevoir l'effet comme résultant d'un coût, comme la consommation et la nécessaire dépense d'une force en vue d'obtenir un travail. La dépense d'une potentialité en vue de l'obtention d'un effet réel conçu sous le schème de la production, et c'est un modèle humain qui va lui servir. Ceci implique plus que des poids morts qui s'équilibrent. Ceci implique plus même que Leibniz, à qui l'on peut penser lorsqu'on parle de force brûlée se réifiant dans un effet. La différence essentielle avec ce dernier auteur, c'est que celui-ci ne pense pas son concept de force vive dans un contexte de production, pas plus que Huygens d'ailleurs. Leibniz parle de conservation des forces vives²⁶², quand Huygens parle plutôt d'*égalité entre la descente réelle et la remontée potentielle*. Dans les deux cas, on peut le visualiser par l'expérience paradigmatique d'une bille que l'on lâche sur les rebords d'une cuvette et qui peut remonter à une hauteur équivalente à celle d'où on l'a lâché. En ce sens l'effet leibnizien n'est pas un travail : c'est un autre nom de la force vive, conservative. Si dans la réalité l'effet n'est pas exactement identique à la cause, cela est dû à la perturbation des frottements (de l'air, ou de la cuvette sur la bille), frottements considérés comme irrémédiablement perdus, comme nuisibles, comme briseurs de l'harmonie universelle. Conservation leibnizienne contre production amontonienne.

²⁶² LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, GERHARDT, C. (éd.), *Mathematische Schriften*, vol. 6, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 1971: 215-231

L'effet d'Amontons, sa *puissance continue*, se situe donc au-delà. En dernier lieu, c'est dans le peson qu'il utilise pour mesurer la force des ouvriers, que vient se loger tout le subtil et discret bouleversement qu'il opère. Ca n'est pas pour rien que Régnier au 19^e siècle appellera cet instrument un dynamomètre. Le modèle de la balance ne s'applique plus, précisément en ce que la balance ne montre qu'une force-pour-soutenir quand Amontons ne cesse de parler de force-pour-mouvoir. Précisons immédiatement : ça n'est pas tant l'instrument de mesure qui importe que son utilisation. On sait bien en effet qu'un peson peut servir de balance, mais alors, il est statique, il ne bouge pas. C'est en ça qu'il est une balance. Mais lorsqu'on le fait mouvoir, en entraînant sa charge avec nous, il cesse d'être une balance pour devenir un dynamomètre, un instrument de mesure de ce qui n'est plus une force statique mais une force dynamique. En effet, lorsque La Hire et presque tous ses contemporains veulent mesurer l'effet d'un homme qui élève un poids, que font-ils ? Ils prennent une corde qu'ils passent par-dessus une poulie, mettent par exemple un poids de 30 livres à un bout, et un homme à l'autre. L'homme hausse le poids. L'effet pour eux, c'est alors soit le poids soutenu, 30 livres, soit éventuellement le chemin ou la vitesse du poids soutenu multiplié par le poids. Ce qu'ils croient voir alors, c'est que l'homme n'a besoin que de 30 livres de force, ou un petit peu plus en comptant les frottements. Ils s'évertuent à penser le mouvement comme un cas particulier de l'équilibre, comme une succession d'états d'équilibre. Si Amontons étaient à leur place, il ne considérerait pas que les 30 livres à l'autre bout de la corde puissent représenter l'effet de l'homme. Il intercalerait un peson entre la main de l'homme et l'extrémité de la corde, et lui demanderait de tirer pour mesurer la force utilisée pendant le mouvement. Il n'obtiendrait pas 30 livres mais bien plus. Alors, le déplacement du curseur du peson sur son échelle graduée, le ressort se détendant au-delà de la valeur du poids de l'autre extrémité, exhibe dans sa banale translation le discret bouleversement de la conception de l'effet des hommes et des machines au travail : c'est là que vient s'établir en un mot la greffe de la force qui meut. L'effet ça n'est plus ce qu'on peut soutenir ; ça n'est plus ce qu'on peut soutenir en le déplaçant tout en croyant que la statique puisse donner l'exacte mesure de la force nécessaire, dans une pure et belle équivalence, qui vaut indifférence, des deux fléaux de la balance; l'effet c'est désormais, et dans une double évolution, non seulement la force dynamique nécessaire mais la comptabilisation de ce mouvement même, distance ou vitesse.

Voilà toute la signification de P.H. ou plutôt P.v chez Amontons. Une mesure qui n'est en rien réductible à celle de Descartes, ou résumable à un invariant. En effet, on connaît

depuis longtemps l'invariance de la multiplication du poids et de la hauteur. Descartes le dit déjà : c'est la même chose de soulever 50 livres à un pied ou 10 livres à 5 pieds. Pourquoi ? Parce que j'obtiendrai le même résultat au final si j'élève d'un seul coup ces 50 livres à un pied, ou bien si je les sépare en 5 parties en les faisant ensuite monter l'une après l'autre à ce même pied de hauteur, ce qui est plus commode. Dans les deux cas, j'obtiens le même résultat voulu. Mais dans le second cas, j'ai pris le premier petit poids de 10 livres que j'ai posé ensuite pour prendre le second, etc., si bien que je n'ai jamais eu que le même poids de 10 livres dans les mains à chaque fois. De la sorte, c'est comme si je n'avais élevé qu'un même poids de 10 livres mais cinq fois plus haut. Mais ceci n'est qu'une propriété de la matière, on peut même dire une propriété géométrique de la matière, insuffisante pour définir un concept d'effet. Descartes fonde bien une mesure, P.H, mais qui n'est que mesure de l'action, non du travail, fondée sur la statique et la balance. Une mesure d'équivalence entre deux termes d'une application réalisée par les machines simples, dans laquelle il n'y aucune notion de production, de consommation, de dépense. Si on parlait de "travail" chez Descartes il faudrait alors parler d'un travail sans force de travail, en somme une absurdité, comme nous l'avons déjà fait remarquer. On voit toute la différence avec Amontons pour qui la *puissance continue* est véritablement le flux de travail d'une force qui se consume, la dépense d'une potentialité qui vient à s'actualiser.

L'invariance de P.H, ou P.v si l'on considère que le mouvement est uniforme, n'est qu'une propriété géométrique de la matière, qui en soi ne dit rien sur le concept lui-même.

Ce que fait Amontons, donc, très modestement, et dans le cadre d'une interrogation toute pratique de réflexions sur l'effet réel des hommes et des machines, c'est utiliser une force dynamique, cette force-pour-mouvoir, couplée à un schème productif, force que tout le monde jusque là s'évertuait à réduire au schème statique comme La Hire par exemple, quand il essayait de calculer la vitesse d'une galère à partir du poids imaginaire soutenu dans la vogue. Huygens nous en a montré un exemple également dans sa première expérience sur la force de l'eau, où il assimile la force d'un jet d'eau au poids statique de la colonne d'eau située au dessus du jet.

2.B.d. REFERENCE ANTHROPOMORPHIQUE ET PARENTE LEIBNIZIENNE

On l'a vu, Amontons différencie nettement la force de l'effet de la force. Entre les deux, c'est d'abord une différence de dimension qui s'établit. L'effet non seulement n'est plus un simple poids pour soutenir, intègre la considération de la vitesse d'exécution, mais, et

surtout, le poids en question n'est plus un poids soutenu mais un poids mu. On passe d'une force-pour-soutenir à une force-pour-mouvoir. La différence entre les deux est essentielle et derrière celle-ci et la *puissance* continue, le référent anthropomorphique est visible à bien des niveaux.

2.B.d.i DES PARAMETRES CHOISIS POUR EXPRIMER LE TRAVAIL HUMAIN

En effet, les paramètres utilisés par Amontons dans le cadre d'un effet ainsi défini ne sont pas choisis au hasard. Ils sont représentatifs du travail accompli, mais, fait notable, ils sont également physiologiquement représentatifs de la fatigue. Autrement dit, Amontons met en place une mesure du travail dont le référent est le travail de l'homme. Ces paramètres sont :

- la force employée par l'ouvrier dans l'exécution du produit
- l'espace que l'ouvrier fait parcourir à son ouvrage, et qui est ici égale à l'espace que parcourent ses mains (ce qui ne serait pas le cas s'il utilisait un levier par exemple)
- le temps pendant lequel l'ouvrier ou la force productive se meut, ou meut son ouvrage.
- la vitesse à laquelle l'ouvrier exécute son ouvrage, qui peut être tirée des deux dernières informations.

Par ailleurs il recueille les informations concernant :

- Le salaire de la force productive (non négligeable pour les hommes, nulle pour les chevaux)
- Le coût de l'entretien de la force productive (nulle pour les hommes, qu'on ne nourrit pas, mais réelle pour les chevaux).

En effet, la force, la vitesse et le temps sont les paramètres phénoménaux de la fatigue humaine²⁶³, et sont covariants avec elle : plus lourd est le poids qu'on soulève et plus on se fatigue ; plus on va vite et plus on se fatigue ; plus on travaille longtemps et plus on se fatigue. De la même manière, la distance est aussi un paramètre phénoménal de la fatigue, et covariant avec elle puisque plus on soulève un poids haut, plus on se fatigue. Par ailleurs il semble que le seul produit de la force par la distance représente plus directement le produit

²⁶³ Voir GRALL, *Economie de forces et production d'utilités*: 79-80

réalisé, l'effet direct, dans lequel la fatigue est moins présente bien que liée. Ce produit d'une force par une distance fait en outre abstraction du temps passé à accomplir l'ouvrage.

Amontons fait donc un choix légèrement différent de celui de ses successeurs Coulomb ou Coriolis : la force par la distance, divisée par le temps. Sa référence reste l'homme. Mais ce n'est pas la fatigue à laquelle Amontons s'intéresse. On peut qualifier le concept qu'Amontons met en place, sa *puissance continue*, de concept de travail mécanique. Si l'on veut être plus précis, et comparer avec notre époque, il faut bien avouer qu'il s'agit là plus d'une puissance au sens moderne, que d'un travail. Mais plaquer cette différence à l'époque d'Amontons n'a pas beaucoup de sens. Il importe simplement de remarquer que les idées d'Amontons au sujet de la mesure de l'effet des hommes et des machines est bien plus proche de personnages tels que Bernoulli, Coulomb ou Coriolis, que d'un Descartes ou même d'un La Hire. En revanche ses idées sont très proches de Parent.

2.B.d.ii CONSUMATION DE LA FORCE CHEZ LEIBNIZ

En ce sens, il faut souligner les parentés que le concept de *puissance continue* entretient avec la pensée de Leibniz. Ne nous méprenons pas : il ne s'agit évidemment pas ici de supposer que la *puissance continue* soit une application de la force vive, mais de mettre en rapport le concept d'effet tel que se le figure Amontons, et tel que Leibniz le conceptualise.

En effet, la constitution du concept d'effet comme consommation d'une force doit beaucoup à Leibniz, Séris l'a bien montré²⁶⁴ dans une argumentation que nous lui empruntons ici.

Avant Leibniz, l'expérience paradigmatique du pendule exerçant son va-et-vient n'était pas appréhendé sous le schème de la cause et de l'effet. Huygens par exemple, encore en 1686, comparait dans les deux phases de l'élévation et de la descente, des espaces, des arcs, des hauteurs, des vitesses, des *impetus*. Tandis que Leibniz voit dans la descente l'acquisition de *force motrice*, et dans la remontée la production d'un effet. Le pendule est pour cet auteur le paradigme de la cause pleine et de l'effet entier, pour au moins deux raisons : c'est qu'il les distingue nettement, et qu'il montre leur égalité. Leibniz n'est pas clair au sens cartésien du terme, puisqu'il fait intervenir deux forces, une force acquise et une force de remontée (*vis acquisita, vis assurgendi*) comme données premières avant d'en expliciter les dimensions ou composantes. Mais du même coup, l'idée de force devient dans un double

²⁶⁴ SERIS, *Machine et communication*: 235-264

mouvement un concept opérant et élucidé : la force acquise trouvant son expression intégrale dans la remontée du poids à la même hauteur que celle de sa chute, la mesure de ce dernier effet permet d'avoir la mesure exacte et véritable de la force, en termes de masse et de vitesse au carré, convertible en produit du poids et de la hauteur. Le pendule illustre alors empiriquement l'équivalence (et non l'identité) entre la cause pleine et l'effet entier. L'effet, s'il fournit la mesure de la force leibnizienne, ne s'identifie pas à elle.

Mais l'idée est nouvelle alors, notamment en ce que Leibniz pose la conservation de la force motrice comme un principe, ce que Huygens en 1686²⁶⁵ n'est pas prêt à lui concéder. Il changera d'opinion par la suite. Sur ce point d'ailleurs, il n'est jamais superflu de le rappeler, Descartes n'a jamais dit, contrairement à ce que Leibniz lui prête, que la force motrice était conservée dans l'univers, ni que la force motrice était identique à la quantité de mouvement. En effet, comme l'exprime le Huygens ultérieur, lecteur de Leibniz :

Il se perd souvent du mouvement sans cause, c'est-à-dire sans qu'on puisse dire ce qu'il devient, comme dans le choc de deux corps de sorte que ce n'est pas une loi naturelle que la quantité de mouvement doit demeurer si elle ne se *consume* à quelque chose, mais la loi est que les corps gardent la force qui fasse monter leur centre commun de gravité à la hauteur d'où il est descendu.

Ou encore :

Ce n'est pas une nécessité que la quantité de mouvement se conserve toujours, si elle ne se *consume* à quelque chose ; mais c'est une loi constante, que les corps doivent garder leur force ascensionnelle, et que pour cela la somme des carrés de leurs vitesses doit demeurer la même.²⁶⁶

Chez Leibniz, l'effet est l'estimation juste de la force car il est le *produit* de la force. Une force qui se *consume* dans la production de l'effet. Pour Leibniz, la vitesse, c'est-à-dire le chemin plus ou moins rapide du mobile sur le plan horizontal, est la traduction de la puissance mais elle n'en est pas l'épuisement. La puissance ne change pas. Au contraire, dans l'effet leibnizien, la remontée du mobile s'effectue en consommant la puissance, la force. La force, chez Leibniz, n'est pas géométrique, mais métaphysique.

Ainsi, l'effet leibnizien est deux fois rattaché à la puissance, en ce qu'il la consume, ensuite en ce qu'il en est l'expression intégrale, ou comme dit Leibniz, sa mesure absolue. Ces deux raisons font qu'il en fournit l'estime, et la vitesse ne peut être la mesure de la puissance.

Leibniz se réfère à l'absolu que constitue la force, et cet absolu revêt deux sens d'après Martial Guérout²⁶⁷ : premièrement, celui d'une substance se conservant, par delà la

²⁶⁵ HUYGENS, OCH: 19, 162-165 cité par SERIS, *Machine et communication*: 239

²⁶⁶ HUYGENS, OCH: 9, 455, 463 cite par SERIS, *Machine et communication*: 243-244

progression géométrique, et deuxièmement ce qui dans la manifestation géométrique échappe à la seule relativité mathématique, et constitue en lui l'élément supra-géométrique. L'absolu de Leibniz est ainsi immatériel et dépendant d'une pensée de la conservation, récusant les déperditions comme illusoire : "[...] *Les forces ne sont point détruites mais dissipées parmi les parties menues*"²⁶⁸.

Ainsi selon Sérís, Leibniz enrichit et spécifie l'exemple du pendule, utilisé avant lui : il y introduit le concept de force et celui de l'effet, qu'il sera désormais impossible de ne pas y voir.

2.B.d.iii CONSUMATION DE LA FORCE CHEZ AMONTONS ET RAPPORT AVEC LA FORCE MOUVANTE DES ANIMAUX DE 1668

Apparaît alors la parenté entre la *puissance continue* d'Amontons, et la *force leibnizienne*. Parenté, mais pas filiation. Amontons est tributaire de sa formation cartésienne et rien ne permet d'établir qu'il ait adhéré aux thèses leibniziennes. Le rapport des deux personnages est plus subtil, mais bien visible. Amontons ne s'attarde pas sur les considérations d'absolu, d'expérience pendulaire paradigmatique, ou d'équivalence entre la cause pleine et l'effet entier. C'est un pragmatique cherchant à former une mesure de l'effet des hommes et des machines le plus pertinent possible, et non un philosophe de la trempe de Leibniz. Il est alors remarquable, et même symptomatique, que son concept s'accorde avec celui du savant allemand, au moins sur un point, qui concerne la représentation de la force. Car pour Amontons, qu'est-ce donc que l'effet ? C'est l'effet d'une force : c'est la dépense, la consommation d'une force-pour-mouvoir en vue d'un effet productif. Une force qui pour Amontons n'est pas liée, insistons là-dessus, à un absolu. En outre, pour Amontons, cette force est une image de la force de l'homme, et c'est en cela qu'elle se consume.

L'exemple paradigmatique amontonien n'est pas le pendule mais le peson. Peson susceptible de mesurer la force-pour-mouvoir des polisseurs de verre produisant leur effet. Dans cette action, toute leur force est employée pour expédier leur ouvrage, c'est-à-dire à vaincre les frottements : c'est ce qui fonde et justifie la juste mesure de la force des hommes. On voit ici l'intégralité d'une force qui se retrouve dans un effet, mais ça n'est pas là-dessus que nous voulons pointer le doigt. Car en effet, cet exemple n'est pris par Amontons que

²⁶⁷ GUEROULT, *Leibniz, Dynamique et métaphysique*: 108

²⁶⁸ LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, GERHARDT, C. I. (éd.), *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz 7vols.*, Hildesheim, New York, G. Olms, 1978: 7, 414

comme un cas particulier, et c'est en tant qu'il est exceptionnel qu'il va pouvoir offrir une mesure idéale de la force totale des hommes au travail : dans d'autres situations, une part variable de la force originelle sera perdue. Ce que nous voulons mettre en avant, c'est que la conception amontonienne se base tout comme celle de Leibniz sur l'idée d'une consommation d'une force originelle, sur sa dépense : dans les deux cas nous avons l'idée et la monstration d'une force en production, ce que Descartes se refusait absolument à faire.

Leibniz fut, tout comme Amontons, ingénieur (dans les mines du Harz) et le fait qu'à la même époque ils se figurent l'effet comme le résultat de l'exercice d'une force qui se consume, n'est sans doute pas un hasard, mais correspond à un habitus doublé d'un esprit du temps. En somme, les conditions semblent réunies, en cette fin de siècle, pour qu'émerge une pensée de l'effet unifié.

Mais avant le Leibniz de la force vive, tout ceci rappelle beaucoup ce que nous avons dit sur la force mouvante des hommes et des animaux telle qu'elle apparaît dans le contexte de l'Académie des Sciences en 1668 (cf. chapitre 1), et le modèle organique de la force. A l'époque, on voyait apparaître dans un cadre de mesure scientifique, la notion d'une transformation d'un effort, d'une peine, ou d'une force motrice, se retrouvant dans un effet. L'effet de différentes forces mouvantes organiques était alors caractérisé comme un poids soutenu, pour une peine constante. C'est cette notion qui est reprise ici, et que l'on retrouve chez Leibniz, mais d'une manière beaucoup plus décantée qu'auparavant.

Ceci étaye et illustre le point suivant : c'est que le concept de travail mécanique (dont la *puissance continue* est un antécédent), nécessite que la force soit prise comme une réalité, comme existante et qu'on puisse la consommer en vue d'un effet. Ceci se vérifiera jusqu'à Coriolis qui d'ailleurs n'hésitera pas à utiliser une métaphore hydraulique pour exprimer la transmission du travail.

2.B.d.iv LE TRAVAIL MECANIQUE ET LA *PUISSANCE CONTINUE* COMME EXPRESSION ANTHROPOMORPHIQUE DE LA FORCE PRODUCTIVE

L'origine de la nécessité que la force soit prise comme une réalité, comme une substance, il faut la chercher dans les critiques mêmes que D'Alembert objecte à ceux qui raisonnent ainsi : c'est que cette idée provient d'une vision anthropomorphique de la force, que D'Alembert pour le coup rejette comme une chimère obscure et antiscientifique, dans une sorte de positivisme avant la lettre. En effet, D'Alembert nie tout caractère ontologique à la

notion de force, qui ne doit surtout pas être comprise comme inhérente au corps²⁶⁹ : on retrouve cette conviction dans l'article Force de l'*Encyclopédie*, dont il est l'auteur. Au sens premier, qui renvoie à l'expérience psychologique de l'effort, cette notion désigne "*la sensation que nous éprouvons et que nous ne pouvons pas supposer dans une matière inanimée*"²⁷⁰. D'Alembert attribue à une sorte d'illusion anthropomorphique notre croyance en l'existence dans un être inanimé d'une puissance motrice :

"Nous sommes fort enclins à croire qu'il y a dans un corps en mouvement un effort ou énergie, qui n'est point dans un corps en repos. La raison pour laquelle nous avons tant de peine à nous détacher de cette idée, c'est que nous sommes toujours portés à transférer aux corps inanimés *les choses que nous observons dans notre propre corps*"²⁷¹.

D'Alembert a raison. Non sur le fait que ce soit un objet non scientifique : mais que précisément, c'est le caractère anthropomorphique qui fonde l'idée de la *puissance continue*, traduction conceptuelle physico-mathématique du travail des hommes. C'est ce référent corporel qui fonde le caractère réel des occurrences et des antécédents du travail mécanique. Et que cela plaise à D'Alembert ou pas, c'est cette base anthropomorphique qui a fait la fortune et l'intérêt du concept de travail mécanique et de ses antécédents.

C'est ce référent que nous avons repéré lors des expériences sur les chevaux à l'Académie dès 1668 ; c'est le même que nous retrouvons chez Amontons ; le même encore chez Daniel Bernoulli ; et nous verrons comment D'Alembert, au contraire, passera à côté du travail mécanique en refusant tout caractère réel à la force, suivant pour le coup une trame peu éloignée de l'épistémologie de Descartes. Autrement dit le travail mécanique et ses antécédents ne sont pas d'abord le travail de la machine, mais le travail des hommes. Coriolis, à l'autre extrémité de cette histoire n'exprime pas autre chose en 1829 lorsqu'il fera entrer le concept de travail mécanique dans la physique théorique. S'il appelle son nouveau concept *travail dynamique* ou simplement *travail*, c'est que :

Ce nom ne fera aucune confusion avec aucune autre dénomination mécanique ; il paraît être très propre à donner une juste idée de la chose, tout en conservant son acception commune dans le sens de *travail physique*.²⁷²

Il insiste :

²⁶⁹ D'ALEMBERT, JEAN LE ROND, *Traité de dynamique*, Paris, David, 1743: XVI Cf. à ce sujet VIARD, JEROME, "D'Alembert et le langage scientifique: l'exemple de la force, un malentendu qui perdure", in KÖLVING, U. & PASSERON, I. (ed.), *Sciences, musiques, Lumières, mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet*, Ferney-Voltaire, Centre International d'Etude du 18e siècle, 2002, 93-106: 95.

²⁷⁰ D'ALEMBERT & DIDEROT, *Encyclopédie: FORCE*, 7, 111

²⁷¹ *Ibid.* Nous soulignons.

²⁷² CORIOLIS, Du calcul de l'effet des machines, art. (16) p. (17). Nous soulignons.

On attache en effet au mot travail, dans ce sens, l'idée d'un effort exercé et d'un chemin parcouru simultanément : car on ne dirait pas qu'il y a un travail produit, lorsqu'il y a seulement une force appliquée à un point immobile, comme dans une machine en équilibre ; on n'appliquerait pas non plus l'expression de travail à un déplacement opéré sans aucune résistance vaincue. Ce nom est très propre à désigner la réunion de ces deux éléments, chemin et force.²⁷³

Et encore :

Le nom de travail, que nous avons adopté, nous paraît très propre à donner une idée juste de la quantité qu'il sert à désigner. On se rappellera facilement, lorsqu'on parlera du travail qu'un cheval produit par jour, que c'est l'effort avec lequel il peut tirer dans le sens du chemin multiplié par ce chemin, ou plus généralement que c'est l'intégrale du produit de cet effort multiplié par l'élément du chemin. Lorsqu'on dira que la vapeur que fournit un kilogramme de charbon, produit une certaine quantité de travail, on se représentera facilement que cette quantité est la pression exercée sur le piston, multipliée par le chemin qu'il décrit, ou intégrée par rapport à ce chemin.²⁷⁴

Le mot de travail n'est pas pour Coriolis une aimable métaphore à visée didactique : s'il utilise ce mot, c'est

que cette quantité sert de base à l'évaluation des moteurs dans le commerce ; que c'est le travail qu'on doit chercher à économiser, et que c'est à cette même quantité que se rapportent principalement toutes les questions d'économie dans l'emploi des moteurs.²⁷⁵

Ce que nous voyons alors avec Amontons, c'est que le mot de *travail* n'est pas plus une métaphore en 1699 qu'il ne le sera en 1829 : le mot et le concept de *travail* est à la base même de la définition des concepts de *travail mécanique* et de *puissance continue* dont ils ne sont que la traduction dans la sphère physico-mathématique. Ils sont constitués pour cela, pour mesurer l'effet des hommes, et pour mesurer l'effet des machines en référence à ce dernier, pas autre chose.

L'effet de la machine chez Amontons et ses contemporains, est toujours relié à l'effet des hommes, dans une problématique de substitution dont l'acception est conjointement et indissociablement mécanique et économique. C'est cette problématique qui participe de la création du besoin d'un effet unifié permettant la mesure de la machine en termes d'humains ou de chevaux remplacés. Et c'est grâce à la modélisation de l'homme et de l'animal comme machine qui triomphe au second 17^e siècle que les deux entités du corps et de la machine vont communier pour revendiquer une identité du fonctionnement et des effets. Autrement dit, on en arrive à une mesure unifiée de l'effet, 1/ parce que l'on peut substituer les hommes aux machines car ils produisent les mêmes effets, et 2/ parce que l'homme peut être décrit comme une machine en fonctionnement, au moins en ce qui concerne ses articulations et ses muscles.

²⁷³ *Ibid.*

²⁷⁴ *Ibid.*, art. (30) p. (32)-(33)

²⁷⁵ *Ibid.*, art (26), p. (27)

Cette conception de l'effet sera, au moins jusqu'à Coriolis, teintée de cette origine anthropomorphique.

2.B.d.v AMONTONS SE DETACHE DE LA FORCE LEIBNIZIENNE EN CE QU'IL N'EST PAS DANS UN SCHEME CONSERVATIF

Quelle différence entre Amontons et Leibniz concernant la force consommée produisant un effet ? Elle tient d'une part, évidemment, à ce que la force comme se la conçoit Amontons n'est pas un absolu métaphysique. En outre si Amontons différencie la force de son effet, l'équivalence dimensionnelle entre les deux n'est pas acquise : d'un côté nous avons le poids mu, qui est proprement la force-pour-mouvoir, et de l'autre l'effet, qui est la *puissance continue*.

Mais surtout, Amontons n'est pas tributaire d'une pensée de la conservation. Car qu'observe Leibniz dans la remontée du poids à sa hauteur initiale ? Il voit certes la consommation de la force dans la réalisation de cet effet, mais celui-ci devient dès l'instant du point de rebroussement la cause de la réalisation d'un autre effet, identique. Cause et effet, si on ne peut les confondre, sont alors dans une consommation perpétuelle et successive l'une par rapport à l'autre. La conservation a ici pour corrélat la réversibilité en plus de l'équivalence. Les déperditions qui ont lieu dans le monde matériel et dont Leibniz est bien obligé de reconnaître l'évidence, ne sont dans cette optique qu'un défaut en "apparence" : la force ne se perd pas, elle ne *peut* pas se perdre, elle ne fait que se diffuser dans les menues parties et provoquer des effets qui ne sont pas ceux attendus. Amontons, lui, est pleinement dans un registre irréversible où la conservation n'est pas pensée. L'interface du polissoir consomme toute la force de l'ouvrier en produisant ainsi un effet, polir la glace et mouvoir le polissoir, mais cet effet n'est pas utilisable à autre chose : il est déjà le produit.

2.B.e. LE LIEN ENTRE TRAVAIL ET FROTTEMENTS CHEZ AMONTONS

Par ailleurs, la problématique pratique dans laquelle raisonne Amontons eut des conséquences très concrètes concernant la théorie du frottement. En effet, la mesure d'Amontons, la mesure du travail des hommes, se fonde sur une mesure d'un travail consistant purement à vaincre des frottements. C'est alors à cette occasion, dans ce mémoire sur la substitution du travail du feu à celui des hommes et des animaux, qu'il remarque que les frottements ne semblent pas dépendre de la surface des parties pressantes, mais uniquement de leur pesanteur. C'est d'ailleurs ce point qui dérouta et intéressa les académiciens plus que

le moyen pratique mis en avant, même s'ils en reconnaissent la nouveauté, l'originalité et la faisabilité. C'est cela qui va être à l'origine d'un second mémoire d'Amontons la même année, traitant des frottements et l'initiation d'une démarche technologique de recherche de très grande ampleur sur les frottements, par Amontons, Parent, La Hire et Sauveur notamment. Amontons montre que les frottements sont mesurables, et en tant que tels, susceptibles d'être enfin pris en compte dans le calcul de l'effet des machines, jusqu'ici en permanence invalidé par la structure matérielle de l'action des hommes et des machines. Un espoir naît : parvenir enfin à une vraie mesure de l'effet des machines, dans un mouvement non seulement contemporain mais conjoint entre le travail mécanique et la mesure des frottements. Amontons l'exprime très bien :

Le grand usage que tous les arts sont obligés de faire des machines, est une preuve convaincante de leur absoluë nécessité ; [...] si le nom de Machine est quelque fois pris en mauvaise part, & s'il devient quelquefois méprisable, ce n'est en partie qu'à cause que le peu de règles que nous avons dans les Mécaniques ne suffisent pas toujours pour prévoir certainement l'effet que les Machines qu'on projette doivent produire dans leur exécution ; [...] de tous les Auteurs qui ont écrit des forces mouvantes, il n'y en a peut-être pas un qui ait fait une attention suffisante sur l'effet des frottemens dans les Machines, & sur la résistance causée par la roideur des cordes, ni qui nous ait donné des règles pour connoître l'une & l'autre, & les réduire au calcul²⁷⁶

Notons cette volonté de rendre les machines nobles en en faisant une description scientifique permettant le calcul de l'effet. Amontons participe du recul des obstacles d'objets : de par ses activités d'ingénieur, le polissage des verres devient digne d'une description scientifique, mécanique. Un objet duquel on va extraire, autant qu'appliquer, des lois naturelles. C'est ce qu'il décrit dans cette citation dans laquelle il exprime très bien que le mépris des savants envers les mécaniques vient de ce qu'on n'en connaît pas les lois : les objets techniques sont rattachés à une vieille tradition qui déconstruit l'Univers entre des vérités pures, éternelles, connaissables, et un concret temporaire, dégradé et dégradant, entre un monde d'en haut, et un monde d'en bas. C'est cette distance que le 17^e siècle s'est proposé de franchir. Pour Amontons il s'agit de faire rentrer la machine dans l'empire de la mécanique, en calculant le travail et les frottements, réduire les objets techniques de production au calcul, bref, c'est le début d'une science des techniques, d'une technologie.

Les frottements, c'est le grain de sable qui vient corrompre toute la belle mécanique théorique des académiciens, tout comme elle gaspille le travail des hommes dans l'action des machines. Ils sont réputés responsables de tous les maux, véritables boucs émissaires de

²⁷⁶ AMONTONS, GUILLAUME, *"De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la roideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre"*, HMARS 1699, M, 206-227: 206

l'inadéquation entre la description théorique et la réalité. En fait, l'inadaptation ne tenait pas seulement à ce point aveugle de la théorie que constituaient les frottements avant Amontons. Elle tenait également premièrement à une définition plus pertinente de l'effet, et deuxièmement aux capacités scientifiques à décrire véritablement les forces exercées sur les machines. Autrement dit, premièrement on n'obtient pas du tout les mêmes résultats si on se contente, dans le cadre d'une théorie statique, de décrire le poids soutenu à l'équilibre par une machine, ou si on en calcule le travail en prenant en compte le mouvement de la machine ; et deuxièmement l'exemple des moulins à vent montre à l'envie la difficulté de savoir exactement comment le vent agit sur les ailes.

Le premier point est illustré en partie par les frottements, justement. Fontenelle résumant la deuxième intervention d'Amontons en 1699, fait bien sentir cela. En effet dans ce second mémoire, Amontons trouve que les frottements sont à peu près égaux à un tiers de la puissance qui presse les surfaces. Prenons alors l'exemple d'un cylindre en hauteur, par-dessus lequel passe une corde reliée à sa première extrémité aux mains d'un homme, et à sa seconde un poids de 30 livres. Le poids et l'homme exerce une pression de 60 livres sur le cylindre, dit Fontenelle. Donc pour mettre en *mouvement* ce poids, il faudra que l'homme vainque non seulement les 30 livres du poids mais en outre les frottements qui empêchent sa mise en mouvement, c'est-à-dire le tiers de la totalité de la pression exercée sur le cylindre, le tiers de 60 livres soit 20 livres. L'homme doit donc avoir une puissance de 50 livres pour mettre ce poids en mouvement. Oui mais... cette nouvelle puissance de 20 livres presse sur le cylindre comme les autres et crée d'autant plus de frottement : précisément un surcroît du tiers de 20 livres, soit 6 livres deux tiers, qui à son tour etc. Le frottement finit par représenter environ 30 livres, d'où la nécessité pour l'ouvrier d'exercer 60 livres pour vaincre 30 livres lorsqu'il est en mouvement. Ceci donne un premier éclaircissement de la différence entre force-pour-soutenir et force-pour-mouvoir. Fontenelle conclut :

Par-là il est aisé de voir combien l'on doit se méprendre dans le calcul d'une machine, quand on n'y considère que les rapports de la puissance & du poids & de leurs distances du point d'appui, & que l'on néglige les frottements, comme on fait d'ordinaire, ou du moins que l'on conte qu'ils n'iront pas bien haut.²⁷⁷

C'est l'une des différences impliquées par le mouvement de la machine, sans compter dans le cas des hommes et animaux que la quantité de poids pouvant être déplacée va dépendre physiologiquement de la vitesse avec laquelle les muscles la déplace. Par ailleurs il

²⁷⁷ HMARS: 1699, H, 109

y a d'autres sources de frottements, tel que la raideur des cordages, qu'Amontons explore également.²⁷⁸

Pour en revenir à la manière de calculer l'effet des machines par le travail chez cet auteur, il faut remarquer l'acception tout à fait originale qu'il a de la mesure de la force des hommes, qu'il va réduire précisément aux frottements. Ceux-ci ne sont plus une perte : au contraire ce sont eux qui permettent en fait au travail d'être réalisé, et même d'exister. Ils sont la raison d'être de son polissage. Il doit les vaincre, et vaincre les frottements, c'est travailler. Mieux : Amontons a choisi de mesurer le travail moyen d'un homme par le biais d'une mesure que les frottements ne dérèglent plus, mais sont au contraire tout ce que l'on mesure. Amontons ne fait en effet que mesurer les frottements, grâce à son peson, et s'il juge pertinent de le faire, c'est que "*toute la force de l'Ouvrier est employée à expédier son ouvrage*". Autrement dit, la mesure des frottements donne l'exacte mesure de la force. Force=frottements. Son dispositif de mesure consomme la force en même temps qu'il la mesure, alors qu'on pensait jusqu'à lui la traduire de diverses manières -poids soutenu, élévation d'un poids, etc.- mais toujours en passant sous silence les gaspillages et déperditions. C'est une machine entièrement dissipative. Il différencie bien la force de l'emploi de la force, qui reste effet, mais effet productif, travail. Elle produit et ne se conserve plus comme ce pouvait être le cas chez Leibniz. Le statut du frottement change et inaugure une autre pensée de l'effet des hommes et des machines.

2.B.f. UNE GENERALISATION DE L'EFFET D'UN MOTEUR, MAIS PAS ENCORE DE L'EFFET D'UNE MACHINE

S'il y a équivalence dans la pensée d'Amontons, ce n'est pas tant entre cause et effet, qu'entre l'effet de l'homme, l'effet des chevaux, et l'effet du moulin à feu. La *puissance continue* signe ainsi ce qu'il y a de semblable dans les agents au travail. Elle permet, bien mieux que ne peut le faire la quantité de mouvement, de regrouper sous un même terme et dans une même acception, l'effet produit par divers agents productifs. Le monde du travail trouve ainsi sa mesure.

Il faut cependant insister sur un point : c'est que la *puissance continue* en tant que telle ne permet pas de bien faire la différence entre l'entrée et la sortie de la machine. En effet,

²⁷⁸ AMONTONS, "*De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la raideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre*"

elle n'est pas conçue pour cela : la *puissance* continue, c'est la force productive de l'agent, ou si l'on veut, le travail en train de se faire. Elle est l'expression de la réduction des hommes et des machines à l'idée de moteur. Ainsi, elle est *l'effet du moteur*, c'est-à-dire ce que le moteur va pouvoir *donner à* une machine, ce qui va être *appliqué à* une machine, sans que la source de cet effet soit mise en débat, et sans que l'on puisse dire quelle va être *l'effet de la machine* animée par le moteur, qui dépend de la structure et de la composition de ladite machine.

Quand on examine Amontons, si l'on n'y prend garde, on peut croire qu'il parle de l'effet des machines en général. La confusion peut advenir en ce que l'exemple des polisseurs de verre est ambiguë : toute la force de l'ouvrier servant à surmonter les frottements, on peut y voir alors l'expression d'un effet dont la mesure est équivalente à celle de la *puissance continue*. Mais il s'agit là d'un cas particulier, choisi précisément pour permettre une mesure de la force totale utilisée par l'homme, traduite en termes de frottements. Dans un cas général on n'observera pas une telle équivalence entre effet du moteur (ici humain) et effet de la machine.

On observe donc chez Amontons la réduction de la diversité des définitions de l'effet, mais au prix d'une réduction du champ d'application de ce terme. La *puissance continue*, en fait, ne dit rien sur le travail en bout de chaîne, à la sortie, celui que l'on récupère après le labeur ou le fonctionnement de la machine, sauf dans les rares cas où ce travail est l'expression intégrale de la force. Sinon, une part de la puissance continue sera perdue dans des effets inutiles : mais sur ceux-ci, Amontons ne s'interroge pas.

Si la généralité du concept d'effet tend donc à se résoudre avec Amontons, elle ne le fait qu'à demi, qu'en ce qui concerne l'effet des moteurs. Amontons donne alors l'impression de s'arrêter à mi-chemin, mais le balisage de celui-ci est suffisamment fort pour orienter la formule de la *puissance continue*, sortant de son cadre strictement amontonien, à mesurer l'effet à la sortie, l'effet produit par la machine alimentée par le moteur, quel qu'il soit. C'est la différence entre ces deux effets, effet du moteur (ou appliqué à la machine à son entrée), et effet de la machine à la sortie, et leur mise en rapport qui va constituer l'étape suivante, prologue à une physique du rendement. C'est en ce sens qu'Amontons rend possible la commensurabilité entre la force et le produit. C'est avec Antoine Parent que ce stade sera véritablement complété (cf. *infra*).

2.B.g. AMONTONS EST IL ENCORE CARTESIEN ?

Nous avons relaté dans les paragraphes précédents toute l'originalité du concept de *puissance continue*. Nous allons en venir aux aspects intrinsèquement économiques d'une telle mesure. Mais entretemps, se pose une question légitime : Amontons, dans le cadre de ses recherches sur le travail des moteurs (humain, animal, mécanique) est-il cartésien ? Non, pour bien des raisons. A commencer par le caractère anthropomorphique que revêtent tour à tour la "force" des hommes et chevaux, et de la puissance continue associée. Ensuite, son concept ne ressemble à rien, pour ainsi dire. Clairement, ça n'est pas la force à deux dimensions de Descartes : outre la différence dimensionnelle dans cette hypothèse, puisqu'Amontons choisit la vitesse et non le temps, la mesure de l'académicien n'est pas qu'une simple quantité d'action. Elle est une mesure de l'effet, du travail en train de se faire, mais du travail de la force. Et on a vu que ce dernier point manquait absolument à Descartes.

Comme si cela ne suffisait pas, on a affaire dans cette histoire, si l'on cible sur la dimension P, à une force-pour-mouvoir, et non d'une force-pour-soutenir. Certes Descartes parlait à propos de sa quantité d'action P.H d'une force pour mouvoir, mais il faut bien faire la différence : sa force pour mouvoir se comprenait comme la combinaison d'un poids statique et d'une hauteur. A l'inverse, c'est à l'intérieur même de la dimension pondérale qu'Amontons loge l'essentiel de sa définition de sa force-pour-mouvoir : le poids dont il est question n'est pas un poids mort, un poids statique, c'est la force indiquée par le peson, la force ressentie *en* mouvement.

En ce sens, on ne peut absolument pas rattacher la *puissance continue* à la quantité de mouvement, qui associe une masse et une vitesse. Ce dont il est question dans l'expression amontoniennne P.v, n'est pas une masse, c'est-à-dire une quantité de matière prise au-delà de ses considérations pondérales, mais une force-pour-mouvoir comme nous venons de le dire.

Ceci, cependant, n'a pas empêché d'autres auteurs à propos des lois de communication du mouvement dans les chocs, d'utiliser la quantité de mouvement en lieu et place du moment, et inversement.

Mais la *puissance continue* ne ressemble à rien de tout cela. Elle est une mesure originale qui certes prend appui sur un terreau existant où l'effet, des chocs, des machines, a pu être énoncé en termes de poids par une hauteur, de poids par une vitesse, mais qui ne se réduit pas à ces occurrences. C'est un concept bâtard dont la définition se fait au contact du problème qui l'a vue naître. La *puissance continue*, jalon dont les similitudes avec le *travail*

mécanique sont indéniables, n'existe pas seule et abstraitement. Elle n'est pas indépendante des conditions matérielles et historiques qui la voient naître : le contexte n'est pas décoratif, il est explicatif, au moins en partie. Ce concept se forme et se définit dans le creuset du moulin à feu en réponse à un problème concret. La *puissance continue*, c'est l'issue d'une conjonction de problématiques et de modes de pensée déjà existant. C'est :

- parce qu'il existe une problématique économique, qui s'exprime en termes de substitution des forces mouvantes entre elles, d'intérêt pour le monde des hommes et des machines au travail, de volonté de prévision, et d'éthique de maximisation ;
- Parce qu'il existe l'ambition théorique de soumettre les moteurs et les machines au calcul, qui reprend à son compte et sert le désir de prévision et de maximisation des moteurs et des machines au travail ;
- Parce qu'il existe un grand projet mécanique où dorénavant connaître c'est fabriquer et où les organismes peuvent être réduits au fonctionnement des machines, et réciproquement ;
- Et parce que la problématique du moulin à feu réunit en un seul lieu mental toutes ces composantes ;

Que la *puissance continue* peut apparaître. Peut, non doit.

Elle est la somme de ces composantes, mais elle est plus, en ce qu'elle parvient à surmonter la pensée de l'équilibre, qui définissait depuis longtemps l'étude des hommes et des machines, au travail ou pas. En ce sens, elle est au moins autant, si ce n'est plus, la continuité de ce qui la précède et lui coexiste, que sa rupture.

2.B.h. L'ORIGINE DE LA MESURE DU TRAVAIL DES HOMMES : LA MACHINE AUTOMATIQUE A POLIR LES GLACES D'AMONTONS

La modernité de l'académicien est tout à fait remarquable, se comportant ici comme pourrait le faire aujourd'hui un ingénieur en productique chargé d'augmenter la performance de son industrie et d'abaisser les coûts. Mais d'où Amontons a-t-il bien pu tirer ses observations sur les polisseurs de verre ? Cette question resterait sans réponse sans le minutier central des archives nationales de Paris. En effet, on trouve une convention passée entre Mathieu Radix et Guillaume Amontons le 8 mars 1702 devant le notaire Claude Vatel, étude LXIX. Elle stipule que Guillaume Amontons a exécuté pour la compagnie Plastrier une

machine à polir les glaces. Elle fonctionna dans un immeuble de la rue Phélippeau, à Paris, mais fut abandonnée en 1702.²⁷⁹

Claude Pris, dans sa grande thèse de 1973 consacrée à la manufacture des glaces de Saint-Gobain, nous renseigne sur le premier âge des machines à polir :

L'idée de faire exécuter par une machine ce travail pénible est ancienne et des essais eurent lieu certainement dans toute l'Europe dès le XVII^e s : l'office des brevets de Hollande, bon baromètre du progrès technique au XVII^e siècle, enregistra un en 1667.

La même année, 1667, un chevalier de Villons avait proposé par l'intermédiaire de l'intendant Chamillart à de Nehou une machine à polir les glaces à Tourlaville. Un privilège pour l'exploitation d'une machine à polir les glaces fut accordée en 1670 à Francine, sans doute le même qui participa à la création de la Compagnie Thévert vingt ans plus tard.²⁸⁰

Il fallu attendre 50 ans après Amontons pour voir réapparaître une machine à polir les glaces, mais on apprend qu'à la même époque que lui en Angleterre, des brevets furent pris en 1678 par J. Roberts et en 1696 par... Thomas Savery²⁸¹, l'inventeur bien connu de la pompe à vapeur dite *The Miners Friend*, destinée à tirer l'eau des exploitations minières dont il déposa le brevet en 1698. Une coïncidence ?

Quoiqu'il en soit, il apparaît clairement que le moulin à feu d'Amontons est issu d'une problématique pratique, et se veut une réponse à celle-ci. Un strict parallèle est fait entre le moulin et les hommes, en tant qu'ils sont capables des mêmes effets ; mieux : du même travail. L'hypothèse que nous formons est que cette machine, dans l'esprit d'Amontons, est d'abord née d'une volonté de fournir une énergie économique au polissage des glaces, et que chemin faisant, il est parvenu à créer l'idée d'un moteur susceptible de s'adapter à toute sorte de travaux.

²⁷⁹ VATEL, CLAUDE, "Convention entre Mathieu Radix et Guillaume Amontons", Paris, Archives Nationales, 1702 Concernant Mathieu Radix, on peut trouver dans les archives de Saint-Gobain, les renseignements suivants (aimablement communiqués par Sabine Gillespie-Lecuyer): Cote A2/2 : Offre de Radix à Geoffrin de mettre 27500 livres dans le nouveau fonds afin d'avoir voix délibérative, 30 septembre 1702 ; Cotes A1/1, A1/2 et A2/2 : lettres patentes et arrêts du conseil relatifs à la Compagnies Plastrier où apparaît le nom de Mathieu Radix ; Cote J3 et J6 : procès entre la Manufacture des Glaces et Jourdan et Radix (1698-1727). Par ailleurs, on trouve dans FREMY, EUGENE, Histoire de la Manufacture Royale des Glaces de France au XVIIe et au XVIIIe siècle. , Paris, Plon-Nourrit et Cie, 1909: 193 une mention d'un traité passé le 16 mars 1696 (et complété par 3 conventions) consistant en l'affermage de la vente des glaces en faveur de 3 personnes Radix, Jourdan et Dubut (ils prenaient à la compagnie toutes les glaces et se chargeaient de les placer chez les marchands) ; il y aura ensuite un contentieux entre Radix et Jourdan.

²⁸⁰ PRIS, CLAUDE, La manufacture royale des glaces de Saint-Gobain, 1665 -1830, Une grande entreprise sous l'ancien régime, 3 vols., Lille, Service de reproduction des thèses, Université de Lille III, 1975: 521-522

²⁸¹ Ibid.: 522

2.B.i. LA PUISSANCE CONTINUELLE, C'EST CE QU'ON PAYE

2.B.i.i LE CARACTERE PRODUCTIF

Si nous paraphrasons Hachette dans le titre de ce paragraphe, c'est que le caractère de production présent dans les idées d'Amontons sur la *puissance continue* n'est pas seulement à prendre au sens de force ou de travail en production. Il est aussi à entendre d'un point de vue proprement industriel, où la dépense d'efforts est le corrélat d'une dépense d'argent. Le but d'Amontons est de créer un lien entre le mécanique et l'économique. Sa mesure du travail des hommes et des machines participe alors à plein de cette problématique de substitution que nous avons précédemment relatée, dont la motivation économique s'imbrique dans le calcul mécanique. Amontons bénéficie de ce contexte, et ce n'est pas en cela qu'il est original. Il ne fait que le reprendre. Mais il permet la résolution de cette problématique de substitution, en ce que sa mesure permet une comparaison mécanique qui est la condition d'une comparaison économique elle-même motivation de la précédente. Un moulin peut remplacer le travail de 234 hommes et 39 chevaux, voilà ce que dit la mécanique, permettant de répondre, à partir du coût de production des différents agents, à la question de savoir lequel est le plus rentable. On l'a vu, Amontons, dans une démarche révélatrice de ses soucis d'ingénieur, s'adonne à un calcul relativement précis de ces coûts. Il est d'ailleurs douteux qu'Amontons ait réalisé cette tâche dans un but ludique ou de curiosité. Amontons n'est pas un riche aristocrate ayant la soudaine lubie de construire une machine à feu pour le divertissement de l'esprit, ou par pure étude théorique de faisabilité. Comme tant d'autres, Amontons n'est pas rémunéré par l'Académie, il doit subvenir à ses besoins et penser à acquérir une situation et une fortune suffisante pour atteindre un certain niveau social, condition nécessaire à tout mariage à l'époque. Notre hypothèse est que cette enquête mécanique et économique répondait à un projet réel, peut être celui d'apporter une source d'énergie à ses machines automatiques de polissage du verre. Amontons aurait ainsi utilisé l'Académie à la fois comme une assemblée d'experts pouvant déceler toutes les failles de sa machine, et comme formidable publicité pour son engin au travers des *Mémoires*. Leibniz, d'ailleurs, en entendra parler et sera fort intéressé.²⁸²

²⁸² Lettre du 26 février 1701 de Leibniz à Fontenelle : "Puisque Monsieur Amontons travaille à employer l'action du feu aux machines, je seray bien aise d'apprendre un jour ce qu'il a essayé. Mons. Papin a fait quelques essais sur ce sujet, où il suppose que l'eau donne un air élastique par la chaleur, qui retourne en eau

2.B.i.ii UNE LOGIQUE DE MAXIMISATION DU PROFIT BASEE SUR UN INDICATEUR SCIENTIFIQUE

L'intérêt de la mesure d'Amontons est de pouvoir répondre doublement à la question : "qu'est ce qu'on paye ?", mécaniquement et économiquement. Le propriétaire paye la force de travail des agents productifs en vue de la réalisation d'un produit. Il paye les salaires des hommes, l'entretien des chevaux ou celui de la machine. Cette force de travail économique trouve son écho mécanique dans la notion de *puissance continue*. Elle en est la parfaite image. C'est bien cela que le propriétaire paye, l'action mécanique des agents.

Pour mettre en rapport la dimension mécanique de la *puissance continue* avec sa dimension économique, il calcule le coût monétaire de la force de production, du moins dans le cas des chevaux, dans l'expérience cinquième²⁸³ : chaque cheval doit être nourri, et consomme trois bottes de foin par jour, coûtant chacune 15 sous²⁸⁴, plus un boisseau d'avoine chacun, de 8 sous, plus encore une demi botte de paille pour la litière (2 sous et 6 deniers). Ce qui fait déjà 25 sous et 6 deniers. Mais ça n'est pas tout, car il faut aussi compter que le travail du cheval dépend de celui des ouvriers humains, qui, eux, ont près de 86 jours de congés par an, en comptant les dimanches et les jours fériés, ce qu'Amontons approxime pour son calcul à un quart de l'année. Donc le coût journalier du cheval doit être augmenté de $\frac{1}{4}$. Ce qui fait 31 sous et 10 deniers environ. Et de surcroît, il ne faudrait pas oublier les ouvriers, que l'on ne paie certes pas les jours fériés, mais que l'on paye le reste de l'année. Les valets d'écurie doivent recevoir 5 sous par jour, et il faut aussi rémunérer le maréchal et le bourrelier. 40 sous par jour, voilà ce que coûtent au total la nourriture et l'entretien du cheval. Bref, tout cela est ruineux. Remarquons tout de même qu'Amontons ne pousse pas le vice jusqu'à calculer le prix d'achat d'un cheval.

Amontons, au terme de son paragraphe relatant sa cinquième expérience, va alors présenter le résultat de ses enquêtes mécanique et économique de manière coordonnée, montrant ainsi que pour lui il n'y a pas *des* enquêtes mais *une seule*, dont les dimensions mécanique et économique s'articulent l'une l'autre :

Il suit de cette expérience :

1°. Que pour continuer un semblable travail le jour & la nuit, il auroit fallu seize chevaux ; & qu'on ne peut pas compter qu'un cheval tienne lieu d'une puissance continue de soixante livres faisant une lieue par heure.

par le froid. Il y aurait peut être des moyens singuliers de ménager cette force." (FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE, NIDERST, A. (éd.), *Oeuvres complètes: Fontenelle, Paris, Fayard, 1989-*: 3, 387-388

²⁸³ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu": 120

²⁸⁴ Un sol (pluriel sous) vaut un vingtième de livre, et est divisé en 12 deniers

2°. Que la nourriture & l'entretien d'un cheval qui *travaille*, revient par chaque jour de travail à près de 40 s[ous].

C'est sur la base du coût journalier d'un cheval pris dans ces conditions (de travail forcé rappelons-le, puisque les chevaux meurent au bout de trois mois), et sachant qu'il en faut 39 pour équivaloir la puissance continue du moulin à feu, que l'académicien calcule le coût de substitution, c'est-à-dire 39 fois 40 sous, soit 78 livres (1 livre équivalent à 20 sous). Ainsi,

[...] le profit qu'il y auroit à se servir de cette espece de moulin à feu, seroit d'autant plus considerable, que le prix du boi qu'on y consomeroit en 24. heures, seroit au dessous de 78. l. ce qui n'empêcheroit pas que ces fourneaux ne servissent à d'autres usages ; comme à des vitrifications, à des fontes de métaux, & à d'autres opérations de Chymie ou d'ouvrages mécaniques, où le feu est nécessaire.²⁸⁵

Amontons conclut alors son mémoire sur l'énonciation des avantages de ce moulin par rapport aux forces de production classiques que sont les hommes, les chevaux, le vent, et l'eau. Ces avantages, à l'évidence d'ordre économique sont énumérés ainsi :

1. De pouvoir cesser & reprendre le travail quand on veut, sans demeurer chargé du soin & de la nourriture des chevaux, & de n'en point supporter la perte ni le dépérissement
2. D'avoir toujours une puissance égale & sans interruption si on ne veut, ce qui ne peut être en se servant des moulins à vent, & les autres par les glaces & débordemens d'eau.
3. Enfin de n'être point sujet aux lieux, parce qu'on trouve presque partout des matieres combustibles.²⁸⁶

Une logique de maximisation de profit sous-tend le mémoire de son introduction à sa dernière ligne. Amontons vise à un abaissement des charges du propriétaire qui, par réduction des coûts de production, bénéficiera d'une plus haute marge sur le prix de vente. Par ailleurs, la maximisation est d'autant plus forte que le moulin ne coûte que quand il fonctionne et qu'il permet de produire en totale indépendance des conditions d'emplacement et environnementales. Mais la modernité d'Amontons ne tient pas spécifiquement à cette logique de maximisation : celle-ci est apportée par les conditions socio-économiques de son temps et son habitus d'ingénieur. Ce qui est nouveau en revanche, c'est que cette logique de maximisation trouve à s'appuyer sur un indicateur scientifique représentatif de la force productive en général et du travail humain en particulier. La substitution des forces mouvantes n'est plus une affaire de commodité, mais dirigée par un principe économique supérieur. La *puissance continue* n'est que la docile servante de la décision du propriétaire,

²⁸⁵ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu": 125-126

²⁸⁶ *Ibid.*: 126

par la prévision comptable et unifiée des effets mécanique et des coûts monétaires. Voilà l'alpha et l'oméga de la démarche d'Amontons.

Ainsi, tout ce savoir-faire, ces connaissances théoriques, ces habiletés d'expérimentateur et de praticien, cet effort conceptuel pour définir un équivalent physico-mathématique du travail humain, n'ont qu'un seul but : maximiser le profit du propriétaire.

2.B.j. LES EXPERIENCES DE 1703

2.B.j.i CE QU'EN DIT AMONTONS

En 1703, Amontons va s'adonner à diverses expériences sur les travaux des hommes et des chevaux. L'examen de ces expériences montre qu'il agit dans le même état d'esprit que Sauveur et Sébastien en 1694 et beaucoup d'autres à la même époque, à savoir que le calcul des hommes et des machines *a priori*, ne demande pas seulement un indicateur mais des mesures empiriques concrètes permettant l'expression numérique du calcul. Dans cette optique, nous allons voir que la généralité du concept de puissance continue n'est pas encore entièrement acquise, même dans l'esprit d'Amontons. Le tableau ci-dessous résume les expériences d'Amontons sur la mesure des travaux des hommes et des chevaux.

Numérotation Fontenelle	Numérotation Amontons	Travaux étudiés	Charge	Temps (secondes)	Distance (toises) 370 chargés+ 370 à vide
11	1	Des hotteurs	22 hottées de terre de 30 livres	1 jour	
1	2	Deux portes chaises	"chargés"	80	70
2	3	Un Portefaix	"chargé"	139	70
3	4	Un homme de pied allant le pas	Son propre poids	120	70
4	5	Un homme de pied courant de toute sa force	Son propre poids	25	70
5	6	Un tireur de chaise roulante	chaise chargée		70
12	7	Un homme élevant un poids avec une corde passant sur une poulie	Poids de 25 livres	145	220
13	8	Un homme grim pant un escalier	133 livres, son propre poids	34	10toises 2 pieds
14	9	Deux chevaux attelés à une charrue dans une terre "ni trop aisée", "ni trop difficile"	Effort de 150 livres chacun	?	?

15	10	Un scieur de bois	25 livres	145	200 coups de scie & autant de relevée; à chaque coup la main fait 18 pouces
6	11	Un cheval tirant sur le pavé	"une charrette chargée d'environ 1500 livres"	112	70
7	12	Deux chevaux qui tiroient au train ordinaire (sur le pavé)	"un carosse"	62	70
8	13	Deux autres chevaux qui tiroient au trot (sur le pavé)	"un carosse"	45	70
9	14	Un cheval de selle "allant le pas ordinaire"	"chargé de son homme"	80	70
10	15	Un autre cheval de selle "allant à grand pas"	"aussi chargé de son homme"	50	70

Tableau 1 : Force, temps et distance employés à l'exécution de différents travaux selon les expériences d'Amontons de 1703. Les numérotations d'Amontons et de Fontenelle sont celles qui apparaissent dans les PV et dans l'Histoire de 1703 respectivement.

On le voit, l'homogénéité des mesures pose question. Amontons mesure ainsi le poids qu'un homme élève avec une corde passant sur une poulie (25 livres à environ 9 pieds par seconde), mais également des poids simplement translatés horizontalement, comme un homme marchant d'une allure normale ou un cheval tirant sur le pavé. Les situations ne sont en outre pas toutes des situations de travail continu. Ainsi Amontons stipule que l'homme montant l'escalier après avoir gravi 10 toises et 2 pieds (soit 20 mètres à très peu près) en 34 secondes (soit 0,59m de dénivelé par seconde), était "entièrement hors d'haleine et hors d'état de continuer". Ce temps en effet ne peut être atteint qu'en courant dans les escaliers.²⁸⁷ Idem de l'homme de pied courant de toute sa force. On remarque que l'expérience d'Amontons sur les hommes gravissant les escaliers est très sommaire car elle ne prend pas en considération le nombre de marches, leur hauteur ou leur profondeur. Coulomb sera plus précis lorsqu'il

²⁸⁷ *On s'en convaincra facilement en faisant l'expérience chez soi. C'est ce que nous avons fait, montant 4 étages (de 3,2 mètres de hauteur chacun) en 50 secondes d'un pas soutenu mais sans courir, ce qui correspond à une vitesse de dénivelé de 0,26 m par seconde environ.*

effectuera à son tour des mesures des hommes gravissant les escaliers 80 ans plus tard²⁸⁸, et fera parfaitement la différence entre transport horizontal et élévation verticale.²⁸⁹

En revanche, Amontons mesure le travail du scieur par le même procédé que pour les polisseurs de verre. Il fait correspondre l'exercice à un poids qu'on élève, certainement avec un peson même s'il ne le précise pas. Ce qu'il ne remarque pas cependant, c'est que le scieur n'exerce pas seulement une force de translation comme le polisseur, mais également une force de poussée, ce que le polisseur n'a pas besoin de faire, celle-ci étant apportée par la flèche de bois pressant l'ouvrage.

Amontons n'utilise pas le terme de *puissance continue* pour ses mesures, et on le comprend aisément puisque ce concept correspond à une puissance de travail moyennée sur une journée, ce qui n'est jamais le cas de toutes ces mesures. Leur point commun cependant, est de pouvoir donner des ordres de grandeur concrets aux artisans, machinistes, et entrepreneurs, servant ainsi la prévision, et parfois le calcul de certaines machines. Ainsi les 12^e et 13^e expériences concernant les chevaux tirant des charges dont le poids n'est pas mentionné ("un carrosse") ne peut pas avoir la prétention de calculer les machines. Néanmoins elle peut être utile, tout comme la 11^e, pour ceux dont la profession est le transport des marchandises. Finalement, on peut dire que le point commun de toutes ces mesures est économique, comme ce sera le cas de Coulomb.

D'où Amontons tire-t-il ces mesures ? On repère deux séries de données : les unes normalisées à 70 toises (de la 2^e à la 6^e, et de la 11^e à la 15^e), et les autres plus disparates. On peut supposer que les premières aient été réalisées dans les mêmes conditions, vraisemblablement à la même période. Les autres au contraire sont probablement issues, tout comme les données sur les polisseurs de verre, de travaux d'ingénieurs dont Amontons s'occupe dans le civil, et qu'il tirerait alors de ses carnets. Le cas semble clair pour la charrue, puisque l'on sait qu'Amontons s'intéressait au sujet.²⁹⁰

²⁸⁸ COULOMB, CHARLES-AUGUSTIN "Résultat de plusieurs expériences Destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces", in BACHELIER (ed.), *Théorie des Machines Simples en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages*, Paris, 1821

²⁸⁹ VATIN, *Le travail, économie et physique*: 52-56 VATIN, *Le travail, sciences et société, Essais d'épistémologie et de sociologie du travail*: chap. 2 GRALL, *Economie de forces et production d'utilités*

²⁹⁰ Cf. PV ARS: 19, 1700, 37 v° Le samedi 30 janvier 1700, « Le P. Gouye et Mrs de la Hire et des Billettes ont été nommez par Mr le President pour examiner une nouvelle invention que Mr Amontons a imaginé pour la Charrue. » Voir aussi la fin de l'éloge d'Amontons par Fontenelle in HMARS: 1705, H, 153.

2.B.j.ii ACCULTURATION DES CONCEPTS ANTERIEURS

La lecture que Fontenelle fait de ces résultats est intéressante et symptomatique, en ce qu'elle montre le flou qui règne alors entre moment, quantité de mouvement et quantité d'action quand on les applique à décrire les travaux des hommes et des machines.

Fontenelle fustige les machinistes ignorants des règles de la statique :

“L'académie entend quelquefois parler de quelques superbes machinistes de ce caractere & de leurs superbes propositions. un homme doit faire autant d'effët que cinquante pour lever un fardeau ; & quand on leur objecte que cet homme fera donc, selon les règles de la Méchanique, cinquante fois plus de chemin que le fardeau, & par consequent employera beaucoup de tems, ils ne conviennent pas toujours de cette augmentation nécessaire du chemin & du tems”²⁹¹

Il met ainsi en avant soit l'invariance de la quantité d'action cartésienne P.H, mais souvent comprise après Descartes comme un invariant P.v car on suppose vitesse et espace proportionnels, le mouvement étant uniforme. Une méthode que Descartes dénonça toujours de son vivant, car

“cette vitesse ne comprend pas la raison pour laquelle la force [à deux dimensions, c'est-à-dire la quantité d'action] augmente ou diminue, comme fait la quantité de l'espace, & qu'il y a plusieurs autres choses à considerer touchant la vitesse, qui ne sont pas aisées à expliquer.”²⁹²

Il passe alors à la résistance des corps au mouvement, énonçant, dans une philosophie typique de la physique des chocs, que cette résistance, quelle qu'en soit l'origine, est proportionnelle à la quantité de mouvements des corps mus, cette dernière représentant aussi la force des corps :

donc la résistance d'un grand corps à un petit mouvement, est la même que celle d'un petit corps à un grand mouvement, pourvu que les masses & les vitesses soient proportionnées, & que la plus grande vitesse appartienne à la moindre masse. Donc les forces nécessaires pour surmonter ces résistances sont égales, & pareillement les quantités de mouvement de deux corps mus dans ces conditions.

De là il suit que la même force ou quantité de mouvement en général peut être formée d'une infinité de manieres différentes, & toutes équivalentes”²⁹³

Et de là, il passe à un invariant P.v du type des *momenti* galiléen :

[...] toutes les fois qu'il paroît qu'une petite force est en équilibre avec une plus grande, 25 livres, par exemple, avec 100, c'est une espèce d'illusion qui se fait aux yeux, l'équilibre n'est point entre 100 livres et 25, mais entre 100 livres & 25, mûes ou *disposées nécessairement* à se mouvoir 4 fois plus vite que les 100.²⁹⁴

²⁹¹ HMARS: 1703, H, 100. Pitot tiendra à peu près le même discours en 1737. D'un bout à l'autre, il s'agit d'affirmer la nécessité que seul le calcul parviendra à la conduite la plus efficace.

²⁹² DESCARTES, Oeuvres, Correspondance III: 614

²⁹³ HMARS: 1703, H, 101-102.

²⁹⁴ Ibid.: 1703, H, 102. Nous soulignons

Que sont les *momenti* galiléens ? Nous reprenons ici une analyse de François de Gandt²⁹⁵, et de Christophe Schmit²⁹⁶. On trouvera cette dernière en annexe.

Le projet galiléen constitue une tentative de coordination des différents champs de la mécanique que sont l'hydrostatique, la science du mouvement, et les machines simples. Ce projet donne à la notion de *momento* un rôle prépondérant et unificateur. Un corps tend naturellement à descendre en direction du centre de la terre et son application à un système de liaisons mécaniques modifie cette tendance: le savant florentin parle alors de *momento* pour exprimer la quantification de l'action du poids. On retrouve sous cette appellation de *momento* trois principales acceptions :

- le moment statique, c'est-à-dire la combinaison de ce poids avec la longueur d'un bras de levier
- la composition du poids avec sa vitesse virtuelle ;
- et le *momento* dégagé de toute liaison au système mécanique, considéré pour lui-même, que l'on trouve dans l'analyse du plan incliné.

La science galiléenne se construit alors autour de cette grandeur fondamentale qu'est l'"invariant poids-vitesse"²⁹⁷, dans différents domaines mécaniques.

Le moment statique dérive de la loi du levier, et se veut une mesure "d'une inclination à descendre". Galilée réduit donc dans un premier temps l'étude des machines simples et composées au levier.

Le second sens de *momento* fait appel aux dimensions vitesse et temps : ce n'est plus l'emplacement sur un bras de levier qui rend compte des différentes « poussées » d'un poids, mais la vitesse de son déplacement²⁹⁸. Une force mouvante d'intensité moindre qu'une résistance, pourra cependant la mouvoir sur une distance donnée à condition de diviser le fardeau en autant de parties l'égalant : l'opération fait alors intervenir une nouvelle dimension fondamentale, le temps qui, dans une machine, combiné au chemin parcouru, permettra d'introduire la vitesse. La machine permet de cumuler l'action de la force (sans faire intervenir l'artifice de la division du poids). Le second sens du terme « moment » est apparenté ici à une « poussée » identifiable à une combinaison d'un poids et d'une vitesse. Cette fois-ci, l'étude des machines ne dépend plus d'une vision essentiellement géométrique

²⁹⁵ GANDT, FRANÇOIS DE, "Force et géométrie. Mouvement et mathématiques chez Newton"(Paris I-Sorbonne, 1987)

²⁹⁶ SCHMIT, "Equilibre et dynamique": 258-268

²⁹⁷ GANDT, "Force et géométrie. Mouvement et mathématiques chez Newton": 1, 403

²⁹⁸ Sur la traduction de *momento* par « poussée », voir *Ibid.*: 1, 155

(situation spatiale d'un poids sur un bras) mais bien d'une donnée dynamique. Le *momento* sera une vertu, une puissance efficace, par laquelle le moteur meut et le mobile résiste, combinaison de la gravité et de la vitesse et, dans l'exemple du plan incliné, cette grandeur dépendra « des inclinaisons diverses des espaces en lesquels le mouvement se produit »²⁹⁹.

Le troisième sens de *momento* ne dépend plus des liaisons du système mais trouve l'autonomie d'une grandeur dynamique. Le *momento* traduit l'intensité de la force dont dépend le mouvement vers le bas et devient la cause du mouvement. Par conséquent, le *momento* permet de penser cette fonction motrice et d'en faire un objet de pensée autonome.

Comme le résume fort bien Christophe Schmit, le terme « moment » dans ses trois sens,

recouvre donc la signification d'effort/poussée intervenant dans une machine simple où il consiste en une combinaison d'un poids ou force motrice avec une vitesse réelle (déplacement d'une charge) ou virtuelle (situation d'équilibre), et celle d'une action d'un corps en chute libre (la poussée de la pesanteur).³⁰⁰

Fontenelle dans sa dernière citation, semble alors se référer au *momento* galiléen dans ses premier et second sens. Et donc, poursuit Fontenelle,

il arrive de-là deux inconvénients insurmontables : & que la puissance, par exemple, un homme, est obligé à faire un grand mouvement, soit des bras, soit des pieds, pendant un long-tems ; & que pendant ce long-tems, le poids, dont l'élévation est l'objet de toute la machine, est peu élevé³⁰¹

Alors, Fontenelle lit les expériences d'Amontons comme une manière de connaître la valeur de l'invariant P.v dans les machines, ses résultats "*fournissant les principes sûrs et commodes pour le calcul de la plûpart des machines qu'on pourra imaginer, & même de plusieurs travaux qui se font sans machines*"³⁰².

Cette manière de voir ressemble quelque peu à une reconstruction. On voit difficilement comment ces concepts hétérogènes de m.v, P.v dans leurs acceptions galiléenne ou cartésienne, peuvent s'appliquer aux mesures d'Amontons elles mêmes hétérogènes... Ceci nous semble plutôt montrer les hésitations d'une science du travail des hommes et des machines encore en construction, où le statut de la mesure de l'effet n'est pas encore clair dans ce cadre-ci. Ce à quoi on assiste alors, c'est à une perte de sens conceptuel des concepts antérieurs de quantité de mouvement ou de quantité d'action. Ne reste plus que l'idée d'un invariant, qui en soi ne suffit pas à définir un concept. Advient donc une sorte d'acculturation

²⁹⁹ Voir dans P. Duhem, *op. cit.*, tome I, p. 249. Dans une machine, l'exercice de « l'action » sera dévolu « la puissance et la vertu que la vitesse du mouvement donne au mobile ».

³⁰⁰ SCHMIT, "Equilibre et dynamique": 267

³⁰¹ HMARS: 1703, H, 101-102.

³⁰² *Ibid.*: 1703, H, 103.

de ces concepts antérieurs, si l'on peut dire, dont les mesures vont trouver à se redéfinir par l'entremise de l'environnement spécifique qu'elles côtoient, chargé de notions économiques de production. Le travail au sens commun, que ce soit celui des hommes, des bêtes ou des machines, est la matrice terreuse, suante, et grinçante d'où les mesures P.H ou P.v vont prendre un sens nouveau, de *travail mécanique* et de *puissance* (au sens d'un travail par unité de temps), respectivement.

2.B.k. ENQUETE BIOGRAPHIQUE ET SCIENTIFIQUE SUR GUILLAUME AMONTONS

2.B.k.i UTILITE D'UNE TELLE ENQUETE

Nous relatons ici quelques résultats d'une étude biographique et scientifique que nous avons réalisée de l'Académicien, insérée en Annexe, munie de quantités de précisions dont un arbre généalogique allant de 1592 à 1739. L'étude se base en grande partie sur des sources manuscrites inédites. Nous avons dû consacrer un temps considérable à les réunir et à les comprendre, du fait de la difficulté pour le néophyte que nous sommes de se repérer parmi les continents que représentent une recherche en archives, notariales notamment, et de l'incommodité de leur lecture, inaccessible à qui n'a pas de connaissances en paléographie.

Nous avons également dépouillé, outre les Mémoires de l'Académie, et divers journaux, les procès-verbaux de l'Académie notamment les 6000 pages, heureusement plus lisibles que les archives notariales, de la période 1699-1705 durant laquelle Amontons est membre de l'institution.

D'aucuns pourraient douter de l'utilité d'une enquête biographique au sein d'une histoire conceptuelle. Elle est pourtant importante dans le cadre du problème qui nous occupe.

Il faut en effet souligner la particularité du concept de travail mécanique et de ses antécédents, inséparables des conditions matérielles dans lesquelles ils émergent, ce qui n'est peut-être pas le cas de tous les concepts. Celles-ci sont explicatives, et non pas simplement contextuelles ou décoratives. On s'en rend particulièrement compte en découvrant que les données utilisées par Amontons en 1699 pour déterminer le travail des polisseurs de verre, sont issues de ses travaux d'ingénieur, dans le cadre d'une machine automatique à polir les verres qu'il invente au tournant du siècle, enjeu autant technique qu'économique. On touche alors du doigt l'apport d'une telle problématique dans la création d'un nouveau concept. Cela, ce sont les archives qui le permettent.

Par ailleurs, il s'agit aussi par une telle enquête de comprendre les influences scientifiques d'Amontons, en essayant de déterminer ses fréquentations savantes, son éducation, ou ses lectures.

Enfin, dépassant le simple cas du travail mécanique, il faut souligner l'importante lacune historique concernant cet académicien, sur lequel aucune enquête sérieuse n'a été menée depuis l'éloge de Fontenelle en 1705, et jamais une biographie scientifique complète d'Amontons n'a été publiée³⁰³.

Cependant, cette recherche est encore en cours, et nous nous contentons d'en donner ici quelques pistes. Le lecteur curieux d'en savoir plus est invité à se reporter aux annexes.

2.B.k.ii SA FAMILLE

Amontons est issu d'une famille rouennaise de marchands merciers connus parfois sous le nom d'Amoutons. Son grand père paternel, François II Amontons, choisit de s'orienter vers le droit, une voie reprise par son fils, Guillaume I Amontons, le père du futur académicien. Guillaume I décida en outre de venir s'installer à Paris, où naquit en 1663 Guillaume II de son union avec Esther Du Bié. Orphelin de mère puis de père assez jeune, Guillaume II devient en outre sourd à la suite d'une maladie alors qu'il n'est qu'en troisième. On ne retrouve trace du futur Académicien qu'en 1687 quand celui-ci vient présenter devant l'Académie un nouvel hygromètre. En 1701 le désormais Académicien est l'un des trois seuls héritiers de son cousin issu de germain Jacques de la Haye, conjointement avec ses deux cousins, David Amontons, curé de Fresnes le Plan, et Martin Amontons, marchand mercier à Rouen. Il se marie alors l'année suivante, 1702, avec Marie Marguerite Charmoy, issue d'une famille de gros marchands de vin, et va s'installer avec sa femme dans une dépendance de la maison de son beau père, rue Saint Honoré, à Paris. Son contrat de mariage révèle que nombre de ses amis sont conseillers en la chambre des comptes du Roi, à des fonctions extrêmement respectables. Il est probable, mais improuvée à cette étape de la recherche, que ces relations ont un lien avec son père, Guillaume I. De son union avec Marie Marguerite, naît en 1705 Marie Madeleine Amontons, très vite orpheline elle même, son père décédant en peu de temps d'une gangrène à l'intestin pendant les vacances de l'Académie, en octobre. Tandis que la nouvelle

³⁰³ L'une des seules tentatives a été celle de Wisniak, qui a publié un court mais honorable article, basé sur les volumes imprimés des HMARS (WISNIAK, "Guillaume Amontons")

veuve se remarie avec un certain Louis Samson, Marie Madeleine survivra et épousera en 1729 un receveur des octrois, Louis Tessier.

2.B.k.iii SON RESEAU RELATIONNEL

Concernant son réseau relationnel, Amontons fréquente la très haute bourgeoisie, et la très haute noblesse. On observe ainsi dans son contrat de mariage, en 1702, la présence de Bignon et Fontenelle, ce qui semble naturel puisqu'il n'aurait pas pu entrer à l'Académie sans le connaître, mais aussi d'une liste impressionnante de conseillers du roi, dont Pierre Marcadé, conseiller secrétaire du Roi, maison couronne de France et de ses finances (une charge permettant à son propriétaire d'acquérir une noblesse de quatre générations dès l'accession, puis pour ses descendants légitimes après 20 ans de service ou en cas de mort en charge), Charles Marcadé, conseiller du Roi, maître ordinaire en sa chambre des comptes, Claude François de la Croix, conseiller du Roi, receveur général des finances de Moulins. D'autres personnages, notamment d'importants financiers, Raymond Arlot le médecin de S.A.R. Madame, des avocats...

Par ailleurs, Amontons est amené à fréquenter Monseigneur (à ne pas confondre avec Monsieur), et Madame, c'est à dire ni plus ni moins que le Grand Dauphin Louis de France (1661-1711) et l'épouse du frère de Louis XIV, Charlotte-Elisabeth de Bavière (1652-1722) aussi appelée la Princesse Palatine, devant lesquels il exécute par deux fois, dont l'une à Meudon, une expérience de transmission de signaux par sémaphore dont il est sans doute le premier inventeur.

Il convient donc de ne pas se laisser abuser par le portrait que fait de lui Fontenelle dans son éloge mortuaire, le présentant comme tout à fait incapable de faire fortune, car motivé uniquement par l'avancement des sciences. Amontons est un mondain préoccupé de son élévation sociale. Quant à sa fortune, elle est de l'ordre de 20000 à 30000 livres lors de son mariage en 1702. Sans constituer un avoir considérable pour l'époque, il pouvait néanmoins assurer une certaine aisance et d'ailleurs il n'est guère éloigné de ce que nous pouvons entrevoir de la fortune à leur mort d'autres académiciens de la même époque, par exemple Tournefort en 1708, Homberg en 1715, Varignon en 1722, etc.

2.B.k.iv SA VIE A L'ACADEMIE

Comment Amontons entre-t-il à l'Académie ? Ce sujet reste encore à élucider mais on peut faire un certain nombre d'hypothèses. Fréquentant l'Académie depuis 1687, d'abord par l'entremise d'Hubin, Amontons a pu ainsi commencer à se tisser un réseau de relations et il est raisonnable de penser qu'il ait entretenu une amitié avec Bignon, celui qui reformera l'Académie en 1699. En outre, il est probable qu'Amontons pense à entrer à l'Académie depuis le début des années 90. Son ouvrage composé en 94 et publié en 95, outre ses aspects scientifiques, vaut acte de candidature et dénote selon nous une volonté d'ascension sociale.

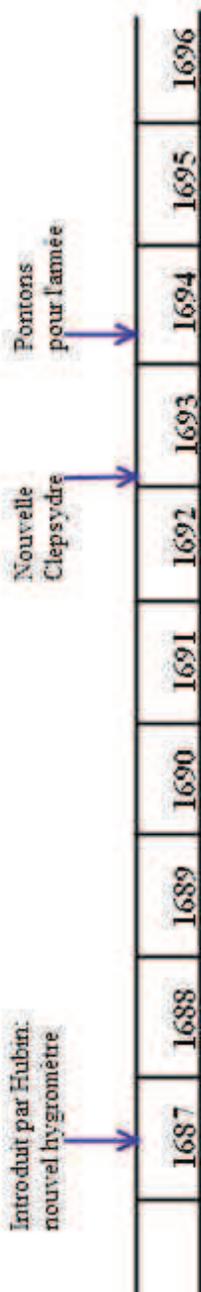
2.B.k.iv.1 SES TRAVAUX A L'ACADEMIE

Ses travaux à l'Académie sont relativement éclectiques et se partagent principalement entre des recherches sur les instruments (baromètres, thermomètres, hygromètres), qui l'amènent à des recherches sur la nature de l'air, et des inventions d'ingénieurs concernant la charrue, les pompes, les pontons militaires, une machine à stores..., qui sans aucun doute, sont des commandes issues de ses activités parallèles d'ingénieur, nécessaire puisqu'il ne reçoit pas de pension, et ne parvient à vivre de ses rentes qu'après la mort d'un cousin issu de germain, en 1701, dont il hérite en partie.

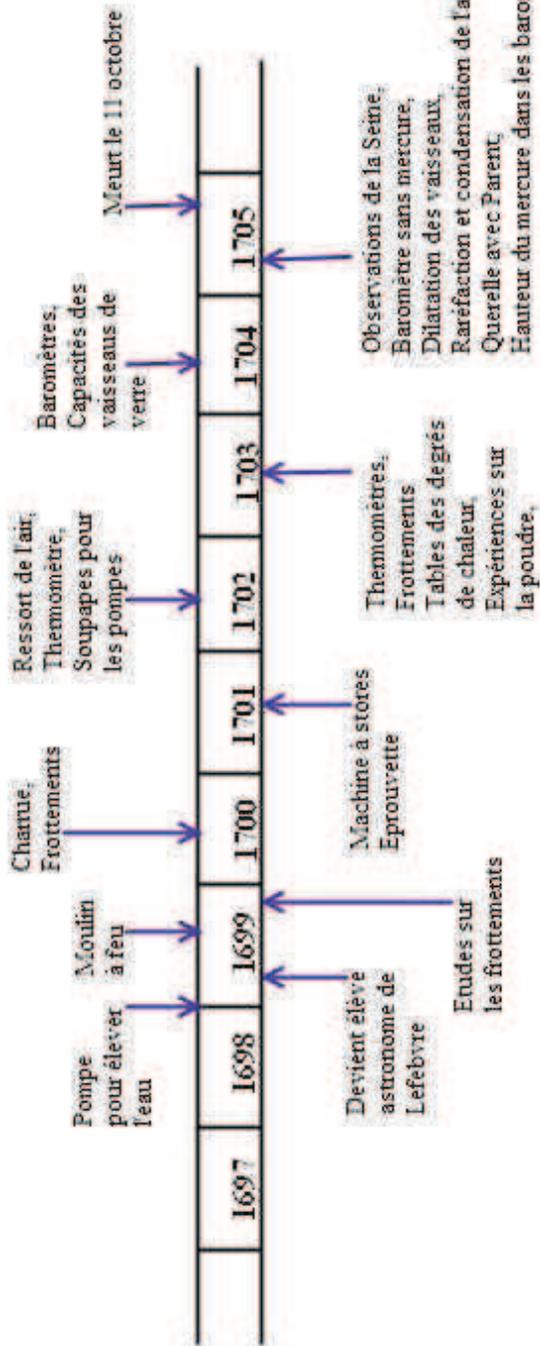
Difficile donc de donner en quelques mots un résumé de ces travaux apparemment si épars. Ils ont cependant tous en commun l'ingéniosité d'expérimentateur de l'académicien, et le croisement des différentes recherches. Le cas exemplaire est bien sûr son moulin à feu, qui est un condensé de ses travaux d'ingénieur sur la machine à polir les verres, et de ses recherches théoriques sur la dilatation de l'air. Amontons fait alors preuve de sérendipité en redécouvrant les lois des frottements. En outre on observe constamment des croisements dans ses différents travaux touchant les baromètres, hygromètres, thermomètres et clepsydres. Chaque invention, chaque observation est susceptible de profiter aux autres instruments.

En outre, Amontons n'est pas qu'un empirique. Il est vrai qu'il part d'abord de l'expérience, mais il la mène avec suffisamment d'aisance pour lui permettre de construire des idées théoriques. On voit assez nettement la progression entre son premier hygromètre de 1687, où Amontons n'est encore qu'un inventeur, et ses dernières expériences sur les baromètres, qui dénotent une forte volonté de réduction théorique.

Guillaume Amontons à l'Académie Royale des Sciences



Tube pour faire le vide



La fréquentation de l'Académie de 1687 à 1699 a donc été pour lui dès cette époque une école méthodologique, où il s'est imprégné de la philosophie scientifique de la nouvelle science. Mais Amontons n'est pas homme à opposer la pratique et la théorie, bien au contraire. Sa recherche quotidienne montre à l'évidence un dialogue constant entre ces deux domaines. Cette méthodologie ou philosophie particulière, était sans aucun doute une condition nécessaire pour un homme qui inventa une mesure du travail des hommes et des machines.

2.B.k.iv.2 SA CONCEPTION DU RAPPORT ENTRE PRATIQUE ET THEORIE

Au sujet de ce rapport entre pratique et théorie, il est intéressant de noter la différence d'attitudes entre Guillaume Amontons et Antoine Parent. Parent ne méprise pas à proprement parler la technique. Il la prend en considération, comme l'objet même de son effort théorique, visant à créer une science de la technique. Mais il semble que dans son esprit toute la matérialité entrant en jeu dans le procédé technique ait vocation à être subsumée sous la technologie, la science de la technique.

Face à cette attitude, si Amontons part aussi de l'expérience pour en découvrir la théorie qui par retour permettra la création de procédés techniques plus adéquats, il semble également que pour lui le dialogue doive se perpétuer jusque dans l'acte même de création de l'objet. C'est-à-dire que la matérialité de la technique ne saurait être entièrement contenue dans les concepts technologiques : la théorie n'est jamais totale, et le coup de main de l'expérimentateur est nécessaire pour pallier ses insuffisances.

Pour Amontons, la théorie n'est qu'un guide ; pour Parent elle est une forme équivalente, mais désubstantialisée, de la réalité elle-même.

Avec qui entretient-il des relations ? Ce sujet n'est pas aisé. En tout cas pas avec Parent, les deux hommes entrant même en dispute en 1705 (un fait dont Parent est coutumier).

2.B.k.iv.3 SES RELATIONS SAVANTES : E.-F. GEOFFROY, JOBLLOT, HOMBERG

On note trois collaborations avec Etienne-François Geoffroy, à propos des dissolutions froides, de la baisse transitoire de la liqueur d'un thermomètre au contact de la chaleur (que Geoffroy attribue à la condensation de la liqueur, et Amontons à la dilatation du verre), et enfin à propos de la table des degrés de chaleur issue des *Philosophical Transactions* que Geoffroy lit en assemblée et vérifiée par Amontons. Dans deux de ces cas, Amontons et

Geoffroy effectuent ensemble les expériences, une première fois dans les caves de l'Observatoire, la seconde au domicile d'Etienne-François Geoffroy entre le 21 et le 28 mars 1705.

Dans ces conditions, il est raisonnable de penser que les deux hommes se fréquentent en dehors de l'Académie, sachant en outre que le père d'Etienne-François Geoffroy, Matthieu-François Geoffroy³⁰⁴, maître apothicaire et premier échevin de Paris, était connu pour tenir des réunions où intervenaient quantités de savants :

“[...] il se tenoit chez son pere des conférences réglées, où M. Cassini apportoit ses planispheres, le P. Sébastien ses machines, M. Joblot ses pierres d'aiman, où M. du Verney faisoit des dissections, & M. Homberg des opérations de chymie, où se rendoient du moins par curiosité plusieurs autres sçavans fameux, & de jeunes gens qui portoient de beaux noms [...]”³⁰⁵

Etienne-François Geoffroy eut une vie bien remplie, au contact des sphères du pouvoir. Son père était un intime de l'homme d'Etat, chancelier et secrétaire d'Etat à la guerre Michel Le Tellier (1603-1685), et poursuivra ses relations avec sa veuve, jusqu'à la mort de celle-ci³⁰⁶. Le fils, Etienne-François, fut aussi un ami du fils Le Tellier, c'est à dire l'Abbé Camille Le Tellier de Louvois (1675-1718)³⁰⁷ membre honoraire de l'Académie des sciences dès 1699 et frère de François Michel Le Tellier, marquis de Louvois (1641-1691), secrétaire d'Etat à la guerre comme son père, et en charge de l'Académie jusqu'en 1691. Etienne-François, choisi comme médecin par le comte de Tallard nommé en 1698 à l'ambassade extraordinaire d'Angleterre, se rendit à Londres, où il se lia notamment avec Hans Sloane (1660-1753), secrétaire de la Royal Society, et devint membre de cette dernière.³⁰⁸ En 1699, il

³⁰⁴ Sur Matthieu-François Geoffroy, cf. DORVEAUX, PAUL, "Journal de Matthieu-François Geoffroy, maître apothicaire de Paris (1644-1708)", *Bulletin des Sciences Pharmacologiques*, XIII, 1906, pp 505 sq. On peut se reporter également à l'éloge par Fontenelle de son fils Etienne-François (FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE, "Eloge de M. Geoffroy", HMARS, 1731, H, 93-100) et, très marginalement, à celui par Grandjean de Fouchy de son autre fils, Claude Joseph in ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: 1752, H, 150 Matthieu François est le quatrième d'une ligne d'apothicaire exerçant dan une boutique de la rue Bourg-Tibourg. Il fut en outre garde de la communauté en 1684, 1685 et 1686, consul en 1694. Il eut 6 enfants avec Louise Devaux, dont Etienne-François et Claude-Joseph, académiciens des sciences, qui eurent chacun un fils également académicien, Etienne-Louis et Claude-François.

³⁰⁵ FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy": 93

³⁰⁶ LAFONT, MARYVONNE & LAFONT, OLIVIER, "Personnalisation des rapports individu-puissance publique, ou Geoffroy et la famille Le Tellier", *Revue d'histoire de la pharmacie*, 79, n° 288, 1991, pp 15-23

³⁰⁷ "Il se présenta encore à lui l'occasion de faire un voyage agréable, celui d'Italie, où il alla en 1700 avec M. l'Abbé de Louvois, en qualité de son médecin, selon le langage de M. Geoffroy, & en qualité d'ami, selon le langage de cet Abbé, car ils avoient tous deux le mérite de ne pas parler de même." (FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy": 95)

³⁰⁸ *Ibid.*: 94-95

est nommé élève chimiste de Guillaume Homberg, puis associé chimiste à la fin de la même année³⁰⁹.

On observe entre Etienne-François Geoffroy et Amontons une convergence des intérêts intellectuels, qui pourrait être expliquée par la fréquentation par Amontons de ce cercle aussi savant que mondain se réunissant chez Matthieu-François Geoffroy. Cette hypothèse est d'autant plus séduisante qu'elle a l'avantage d'expliquer comment Amontons connaît Louis Joblot³¹⁰, le naturaliste et microscopiste si connu également pour ses expériences sur les aimants³¹¹, qui participe aussi à ces réunions.³¹²

Amontons connaît-il personnellement Guillaume Homberg? Ceci n'est pas impossible, puisque Joblot entretient également des relations avec ce savant, qui fréquente aussi le cercle de Matthieu-François Geoffroy.³¹³

Par ailleurs, Homberg s'intéresse également aux microscopes et aux fermentations froides, et Amontons connaît bien les travaux de Homberg dès au moins 1694, puisqu'il le cite dans son ouvrage publié en 1695³¹⁴. En outre le chancelier de Pontchartrain fait successivement appel aux deux savants pour réparer son baromètre, signe manifeste non

³⁰⁹ INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique*: 263

³¹⁰ Sur la vie de Joblot, voir l'article de P.W. Van der Pas, in GILLISPIE, C. C. (éd.), *Dictionary of scientific biography*, 18 vols., New York, Charles Scribner, 1970-1990 KONARSKI, W., "Un savant barrisien, précurseur de M.Pasteur, Louis Joblot (1645-1723)", *Mémoires de la Société des gens de lettres, sciences et arts de Bar-le-Duc*, 4, 3e série, 1895, pp 205-333

³¹¹ Sur celles-ci, cf. JOBLLOT, LOUIS, "Extrait d'une nouvelle hypothèse sur l'aiman", *Journal de Trevoux...* III, n° Sept. 1703, 1703, pp 1477-1489, JOBLLOT, LOUIS, "Lettre de Mr. Joblot Professeur en mathématique dans l'Académie Royale de Peinture & Sculpture à Paris, à Mr. de Pujet à Lyon", *Journal de Trevoux...* III, n° Sept. 1703, 1703, pp 1474-1476

³¹² En effet Joblot rapporte en 1718 dans ses *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes*, l'anecdote suivante : « Monsieur Amontons, de l'Académie Royale des Sciences, m'apporta un jour une petite bouteille de vinaigre distillé, qui étoit d'une force extraordinaire, & qui contenoit un nombre prodigieux de petites anguilles d'une tres-grande vivacité. » (JOBLLOT, LOUIS, *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes tant simples que composez, avec de nouvelles observations faites sur une multitude innombrable d'insectes et d'autres animaux de diverses espèces qui naissent dans les liqueurs préparées et dans celles qui ne le sont point...* vol. 2 parties en 1 volume, Paris, J. Collombat, 1718: 1, 4. Une seconde édition a été publiée : JOBLLOT, LOUIS, *Observation d'histoire naturelle, faites avec le microscope sur un grand nombre d'insectes et sur les animalcules qui se trouvent dans les liqueurs... Avec la description et les usages des différens microscopes*, 2 vols., Paris, Briasson, 1754-1755

³¹³ Joblot écrit en effet : « Monsieur Hombert [sic], de l'Académie Royale des Sciences, a proposé une manière nouvelle de faire u vinaigre avec du bon vin, la plus prompte de toutes : elle consiste à attacher une bouteille, ayant environ les deux tiers de sa capacité pleine de vin, à un cliquet de moulin : les fréquentes secousses que la liqueur y reçoit brisent tellement ses principes, & ce qui luy donnoit de la douceur, qu'elle devient en peu d'heures un vinaigre tres-fort, qui se garde long-tems dans le même état. » JOBLLOT, *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes tant simples que composez, avec de nouvelles observations faites sur une multitude innombrable d'insectes et d'autres animaux de diverses espèces qui naissent dans les liqueurs préparées et dans celles qui ne le sont point...* 1, 7

³¹⁴ Imprimé en 1694. AMONTONS, GUILLAUME, *Remarques & Expériences Phisiques sur la construction d'une nouvelle Clepsidre, sur les Barometres, Thermometres, & Hygrometres*, Paris, 1695: 68

seulement qu'ils œuvrent tous deux sur les mêmes objets d'étude mais surtout qu'ils sont connus du chancelier.

Bref il semble qu'il y ait entre Amontons, Geoffroy et Homberg, une communauté de pensée, qui s'exprime autant dans les sujets d'études, que dans leurs relations sociales. Tous trois fréquentent les plus importants personnages de l'Etat. On pourrait tirer d'intéressantes conclusions de la fréquentation de Homberg, homme éclairé, ami du futur régent, le duc d'Orléans, et fervent défenseur de l'utilité des sciences et des rapprochements entre celle-ci et les arts et métiers. Néanmoins, d'autres documents sont nécessaires pour valider les liens entre Amontons et Homberg, car nous n'avons jusqu'ici que des coïncidences en ce qui les concerne.

2.B.k.v SA BIBLIOTHEQUE

Nous relatons, toujours en annexe, tous les titres probables de la partie de sa bibliothèque décrite dans son inventaire après décès. Même si les titres ne représentent qu'environ 10% des volumes, ils révèlent un homme cultivé, grand lecteur, à la curiosité affirmée et diverse, ne se contentant pas de sujets scientifiques. Un homme semble t-il pieux, en tous les cas pas moins que ses contemporains, et s'intéressant à l'occasion à d'autres sons de cloche que la doctrine officielle.

2.B.k.vi CONCLUSION SUR LA VIE D'AMONTONS

Si le nom d'Amontons n'évoque plus aujourd'hui qu'un vague souvenir à quelques tribologues lui reconnaissant la copaternité, avec Coulomb, d'une loi sur les frottements, Guillaume Amontons fut pourtant à son époque un homme assez en vue, fréquentant la très haute bourgeoisie et les princes de sang. Connu de Pontchartrain, du frère de Louis de XIV, de la princesse Palatine, il a pour amis des membres de la haute bourgeoisie, dont une collection de conseillers du roi et d'officiers de justice, qui ne sont sans doute pas sans lien avec les relations de feu son père. Comme beaucoup d'hommes de son temps, Amontons est ambitieux, et préoccupé par son rang social.

Si son souvenir est aujourd'hui à demi effacé, cela ne tient pas à l'absence de mérite de ses travaux, mais au caractère transitoire des connaissances qu'il a mises au jour. Ses travaux sur les baromètres et les thermomètres en sont le plus parfait exemple. Amontons n'est pas le savant qui révolutionne tout un pan de la science en une nuit; c'est un laborieux

qui fait incessamment dialoguer technique et théorie et dont l'œuvre se construit dans la longueur, dans un ouvrage dix, vingt, cent fois remis sur le métier, et toujours enrichi. Une longueur de temps que le destin lui refusera. C'est précisément en 1705, alors qu'il semble avoir pris ses marques à l'Académie, et être de plus en plus investi et productif, qu'il meurt subitement. La peine de Fontenelle dans son éloge est sensible, et il ne tarit pas de compliments : il perd un ami, ainsi qu'un collègue.

Amontons était un homme instruit, comme le suggère sa bibliothèque, en grande partie autodidacte, et inventif. Il ne dépend pas d'un système en particulier, et est attaché à l'expérience, deux éléments importants dans la création d'un nouveau concept comme celui de *puissance continue*, pour lequel il ne s'embarrasse guère de réflexions philosophiques sur la nature de la force ou de la quantité de mouvement, mais laisse le champ libre à de nouvelles interprétations.

Cette inventivité, sa fréquentation des grands du royaume et des sphères de la finance, au contact donc avec une éthique de la production qui participe d'une technique gouvernementale mercantiliste, ses habitus d'ingénieurs, et les ouvrages qu'il est amené à réaliser, sont autant d'éléments qui expliquent l'émergence chez lui d'un premier antécédent du concept de travail mécanique. A l'image de son temps, Amontons est une sorte de catalyseur, celui en qui toutes les influences se mêlent pour donner à un moment donné une réponse originale à un problème compris différemment.

2.C. LES MACHINES D'ANTOINE PARENT (1704-1714)

Cinq ans après le moulin à feu d'Amontons, c'est au tour d'Antoine Parent de créer un concept d'effet dont l'analyse va nous permettre de voir toute la parenté avec le concept de travail mécanique. Parent raisonne sur des machines, des roues hydrauliques. Dix ans plus tard, il rattachera à sa première théorie les machines mues par des animaux et élevant des poids, ou remontant des bateaux.

Sur la plus grande perfection possible des machines : c'est le titre du mémoire que Parent présente à l'académie royale des sciences en 1704³¹⁵. Dans celui-ci, Parent met en place, apparemment pour la première fois dans l'histoire de la mécanique, le concept de maximalité de l'effet ou, comme dit Parent, de "plus grande perfection" des machines. Qu'est-ce à dire ? Qu'une machine ne peut restituer qu'une partie de la force qui la fait se mouvoir. Non pas à cause des frottements. Mais de par les contraintes structurelles de la machine elle-même, elle ne peut dépasser certaines limites d'efficacité, que la théorie permet de connaître à l'avance. Parent pose le premier le problème de l'effet comme utilisation partielle de la force motrice de la machine, mais indépendamment des frottements. C'est la structure qui est en cause. Cet angle nouveau de concevoir la machine en mouvement eu une longue influence sur les scientifiques suivants. Ainsi Bélidor affirmera que "*cette découverte mérite d'être regardée comme une des plus importantes que l'on ait fait depuis le renouvellement des Sciences et des beaux Arts*"³¹⁶. De plus, dans l'ouvrage fondateur de Coriolis, de 1829, figure le rapport de l'académie des sciences écrit par Prony, Girard et Navier, où on peut lire :

Parent semble avoir remarqué le premier, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences pour l'année 1704, qu'étant donné le moteur destiné à opérer un travail, l'effet que l'on pouvait en obtenir était susceptible de varier entre certaines limites, et qu'il fallait s'attacher à proportionner tellement les effets et les vitesses, que cet effet atteignit la plus grande valeur que la nature du moteur pouvait comporter. Ces idées ont été adoptées par les savants et ingénieurs qui depuis se sont occupés de cette matière. Les recherches théoriques et expérimentales de Daniel Bernouilly, Euler, Borda, De Parcieux, Coulomb, Carnot, Bélidor, Smeaton, ont eu généralement pour objet d'apprécier l'action des divers moteurs, et d'apprendre à la régler de manière à satisfaire aux conditions de

³¹⁵ PARENT, ANTOINE, "*Sur la plus grande perfection possible des machines*", HMARS, 1704, M, 323-338. *Quelques éléments sur ce mémoire dans* : BELHOSTE & BELHOSTE, "*La théorie des machines et les roues hydrauliques*". *Séris a fait une analyse sérieuse du mémoire de 1704, que nous reprenons en partie* : SERIS, *Machine et communication*: 285-298.

³¹⁶BELIDOR, *Architecture hydraulique*: 1,1, 248, art. 592

maximum qui se présentent dans toutes les questions de ce genre, aussi bien que dans la plupart des applications des sciences aux arts et à la philosophie naturelle.³¹⁷

Cette citation a le mérite de montrer non seulement l'influence de Parent³¹⁸ sur tous les scientifiques ayant eu à s'intéresser au calcul de l'effet des machines, mais également que lorsque Coriolis examine les roues hydrauliques construites par Parent, il n'y voit pas tant une machine qu'un moteur.

La pérennité des résultats de Parent surprend cependant le lecteur moderne, car ils ne correspondent pas à la réalité. Ce n'est qu'avec les travaux parallèles de Smeaton et de Borda que des valeurs plus réalistes seront déterminées. En attendant, les successeurs de Parent les reprendront sans sourciller pendant 55 ans. Mais avant de préciser en quoi ses résultats étaient erronés, décrivons déjà en quoi ils consistent et comment Parent en est venu à forger ce concept, qui, nous le verrons, n'est que la partie visible de l'iceberg.

2.C.a. DEMARCHE ET METHODE : ASPECTS CALCULATOIRES

2.C.a.i ACTE I : LES MACHINES MUES PAR UN FLUIDE EN MOUVEMENT (1704). ASPECTS CALCULATOIRES.

Il ne s'agit pas ici de reproduire tous les calculs de l'austère académicien, mais d'explicitier dans les grandes lignes sa démarche et d'éclairer la philosophie qu'il met en œuvre, pour montrer en quoi elle se rattache à notre problématique.

Notre auteur se donne un cadre pour le moins très général, puisqu'il se place dans le cas d'une machine ayant "*pour puissance motrice quelque corps que ce soit, comme, par exemple, l'eau, le vent, la flamme*"³¹⁹ et dont le but soit de soulever des poids, que ces poids soient ponctuels ou bien continus (comme de l'eau par exemple). Jusqu'ici, nous indique-t-il, les machinistes n'ont agi qu'au "hasard" : après avoir mis une masse qui fasse équilibre avec le fluide, c'est-à-dire d'un poids tel qu'elle ne monte ni ne descende, ils diminuaient ensuite ce

³¹⁷ CORIOLIS, GUSTAVE-GASPARD, *Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leurs évaluation, pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines*, Paris, Carilian-Golury, 1829: 1

³¹⁸ C'est en fait grâce à Pitot, encore un ingénieur, que les calculs de Parent seront "popularisés", en les présentant de manière plus simple et logique. Cf. PITOT, HENRI, "Nouvelle méthode pour connoître & déterminer l'effort de toutes sortes de Machines mues par un Courant, ou une chute d'eau. Où l'on déduit de la loi des Mécaniques des Formules générales, par le moyen desquelles on peut faire les Calculs de l'effet de toutes ces Machines", HMARS, 1725, M, 78-102 Il commencera par tirer d'abord la relation entre la vitesse de la roue et celle du fluide, que Parent ne déterminait qu'en dernier. Voir infra.

³¹⁹ PARENT, ANTOINE, "Sur la plus grande perfection possible des machines" *Ibid.*, 1704, M, 323-338: 323

2.C.a.i.1 VOCABULAIRE

Observons maintenant le dispositif que Parent nous propose (Figure 25, ou page 326 des *Mémoires*). Le fluide EB, quel qu'il soit, vient frapper la pale B, et donnant ainsi du mouvement à la première roue (celle de gauche). Celle-ci, par le moyen d'un engrenage, fait tourner dans le sens inverse la deuxième roue, et, de ce fait, remonter le poids. Si ce poids est tel qu'il ne monte ni ne descende, alors c'est qu'il s'agit du poids qui fait équilibre à la force motrice du fluide. Parent l'appelle donc "*poids d'équilibre*"³²¹, mais aussi "*la force ou l'effet absolu du fluide EB*"³²². Suite à quoi il définit dans la même page :

- *l'effet général* du fluide comme étant le produit du poids par la vitesse du poids qu'il élève. Ce que nous noterons $E_g = P_s \cdot V_{(P_s)}$.
- et *l'effet naturel* du fluide par le produit du poids d'équilibre P par la vitesse du fluide EB, "*parce que c'est le même effet que si P étant mis dans une gondole sur l'eau EB, flotterait au gré de l'eau avec toute la vitesse du fluide*"³²³. Nous noterons $E_n = P \cdot V_f$. Remarquons que si ce poids P_s est égal à P, le poids d'équilibre, alors nous parlerons bien sûr de l'effet absolu

Donc chez Parent, le concept d'effet (général) est représenté par le produit du poids effectivement soulevé par la machine par la vitesse que possède ce poids. Le concept d'effet, recèle donc une primordiale différence avec ce qu'Amontons appelait la *puissance continue* d'une force motrice. Dans la vision amontonienne, on peut tout aussi bien considérer que son concept représente l'entrée ou la sortie, puisqu'en fait il ne parle pas tant des machines en général que des moteurs (humain, animal, mécanique) et plus exactement de l'effet qu'un moteur donne avant application à une machine. Il existe donc une différence entre la *puissance continue* et l'*effet* de Parent, puisque ce dernier est décliné en effet de la force motrice et effet de la machine, différence rendue nécessaire de par la prise de conscience qu'ils ne pourront pas être égaux au-delà même de la question des frottements. Il ne s'agit plus d'un moteur mais d'une machine. En prenant pour médiateur et transformateur la roue elle-même, sa structure de bois, on a donc d'un côté une potentialité, l'*effet naturel* (qui n'est pas exactement ce qu'on a à l'entrée de la machine) et de l'autre une sortie, l'*effet général*.

³²¹ *Ibid.*: 326

³²² *Ibid.*

³²³ *Ibid.*

Il indique ensuite que si on remplace le poids d'équilibre P, par un autre (noté p), de sorte que la machine puisse être capable de lever ce poids, celui-ci sera désigné par le nom de “poids diminué³²⁴”, ou de “poids de mouvement”³²⁵ si celui-ci est le poids requis pour obtenir le plus grand effet. De même, en augmentant ou diminuant le rayon AB, AH, LH, LI, des roues, on peut faire mouvoir le poids, et il les nomme alors “rayons augmentés en général, ou rayons de mouvement”³²⁶.

2.C.a.i.2 PRINCIPES

Pour faire le calcul Parent se fonde sur plusieurs “*principes*”.

Le premier d’entre eux consiste à considérer que l’“*effort*” du fluide, c’est-à-dire sa force (qu’on notera F), sur la pale B, peut être calculé par le produit de la masse (ou de la densité) du fluide par le carré de sa vitesse, par la surface de la pale B. Cette définition est d’un usage courant depuis Mariotte³²⁷ et ses expériences inspirées elles même de Huygens (cf. chapitre 1). Il définit également le “moment” qu’exerce le fluide à l’encontre du poids P par le produit (F. AB. LH). Nous allons y revenir sur ce point.

Comme second principe, il prend que le moment du poids P envers le fluide est le produit P. LI. AH.

Le troisième est une “*Analogie*” : si pour deux poids différents P₁ et P₂ correspondent les vitesses du fluide V₁ et V₂, respectivement, telles qu’elles permettent de soutenir les poids P₁ et P₂ en équilibre, et qui correspondent à des efforts différents F₁ et F₂ alors : P₁/P₂ = F₁/F₂

Une fois la machine en mouvement, quand on a remplacé le poids d’équilibre par le poids de mouvement, il faut considérer que la vitesse qui vient choquer la pale B n’est pas la vitesse absolue du fluide, mais en réalité la vitesse du fluide *diminuée de la vitesse de la pale*, c’est-à-dire la vitesse relative du fluide par rapport à la pale. En effet la pale fuit devant le fluide, donc la vitesse avec laquelle le fluide frappera celle-ci sera d’autant moins importante que la pale ira plus vite.

Enfin le cinquième, qui énonce que le rapport de la vitesse V_B du point B à la vitesse V_P du poids P : $\frac{V_B}{V_P} = \frac{AB \cdot LH}{AH \cdot LI}$. Ce qui est très facilement démontrable en constatant que la

³²⁴ *Ibid.*: 327

³²⁵ *Ibid.*

³²⁶ *Ibid.*

³²⁷ MARIOTTE, *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*

vitesse d'un point d'une roue est simplement égale à la circonférence de la roue divisée par le temps mis pour faire un tour, et par des considérations géométriques élémentaires.

Tout est donc en place pour commencer le calcul, en nommant x la vitesse inconnue que prendra la pale B, et V la vitesse du fluide EB. Il en sort que lors de l'équilibre, les moments des forces sont égaux, c'est-à-dire que le moment qu'exerce P au point B est égal au moment qu'exerce le fluide sur le poids, ce qui donne $P.AB.LH = P.LI.AH$, puisque la force du fluide est égale à P. Arrêtons nous ici un instant car cette manière de faire peut troubler le lecteur moderne. Comment Parent établit-il ces deux expressions des *moments* ?

Parent a suivi les cours de La Hire, donc citons le pour comprendre comment le "moment" est alors considéré, alors que la notation vectorielle n'existe pas encore et que la force au sens de Newton n'est pas utilisée par Parent. On peut lire dans les "définitions générales" de son traité de mécanique, que l' "on appelle moment d'un corps pesant l'effort avec lequel il peut agir sur un autre corps quand il est appliqué à la machine, & cet effort est un composé de sa pesanteur absoluë & de la force dont il agit sur l'autre"³²⁸.

Considérons donc un levier (Figure 26). Le levier est en équilibre car la somme du moment des forces est nulle dirions nous aujourd'hui. A l'époque, on dirait plutôt que les moments de chaque poids sont égaux et que le poids qui pèse 3 unités de poids possède 16 unités de force, tandis que le poids pesant 8 unités a 6 unités de force. Pour trouver les deux moments, il faut alors multiplier d'un côté 8 par 6, et de l'autre 3 par 16. Si au lieu du poids de 8 unités on avait un poids de 3 unités, on dirait que le poids de droite a 2,67 (=16/6) fois plus de force que le poids de gauche.

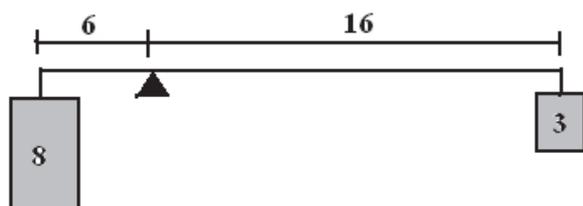


Figure 26 : Exemple de levier, tiré du *Traité de Mécanique*, de La Hire (1693)

Il en va de même pour les roues, analysées par La Hire sous le registre du levier. Le moment qui s'exerce en un point est l'"effort" que fait la force en ce point. Ainsi, considérons la Figure 27. La force du fluide en B y est représenté par F (on a figuré un vecteur, ce qui n'est pas utilisé par Parent). En H, la force (newtonienne pour nous) due à la force du fluide va être F_h , qui sera nécessairement plus grande que F, car la distance de H au point de levier

³²⁸ LA HIRE, PHILIPPE DE, "Traité de mécanique", in ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (ed.), *Mémoires de l'Académie Royale des sciences*, IX, Paris, Compagnie des libraires, 1730(1695): 7

(c'est à dire le centre de rotation A), est plus petite que la distance de B à ce même point A. Donc le moment du à la force du fluide en H sera égal à $F_h.AH$, et aussi à $F.AB$, soit $F_h = F.AB/AH$.

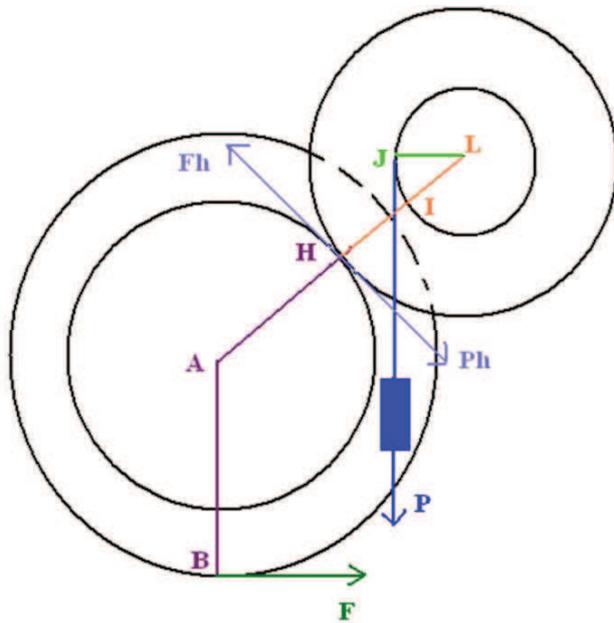


Figure 27 : Version géométrique de la roue de Parent

De même, si on prend la roue dentée de droite, de centre L, le moment exercé par le poids P en J par rapport à L est égal à $P.LJ$, et comme $LJ=LI$, ce moment est égal à $P.LI$. En H, le même "effort" s'exerce ($P.LI = P_h.LH$). Soit $P_h = P.LI/LH$. Comme nous avons introduit les forces newtoniennes, poursuivons dans notre anachronisme afin de retrouver les résultats de Parent, et considérons que F_h et P_h sont égales en norme. On a alors :

$$F.AB/AH = P.LI/LH,$$

Donc :

$$F.AB.LH = P.LI.AH$$

Nous obtenons bien entendu les mêmes résultats que Parent, mais lui part directement d'une expression des moments pour les égaliser. Actuellement, on analyserait une telle roue en remarquant que le moment cinétique de chacune des roues est constant puisque la roue a une vitesse uniforme, comme le remarquent Bruno et Jean-François Belhoste³²⁹. Ainsi d'après le théorème du moment cinétique (la dérivée par rapport au temps du moment cinétique est égal à la somme des moments des forces extérieures appliquées au système, et donc ici cette dérivée est nulle puisque le moment cinétique est constant), la somme des moments des forces extérieures appliquées à chaque roue est nulle.

³²⁹BELHOSTE & BELHOSTE, " La théorie des machines et les roues hydrauliques"

2.C.a.i.3 SEQUENCE DE CALCUL

Revenons en à Parent, qui énonce alors que dans l'état d'équilibre : $P \cdot AB \cdot LH = P \cdot LI \cdot AH$ donc $P = P \cdot (LI \cdot AH) / (AB \cdot LH)$

Le P du membre de gauche correspond au F précédent, mais dans l'état d'équilibre, puisque Parent prend la lettre P pour marquer l'effort du fluide contre la pale à l'état d'équilibre, tout en appelant aussi P le poids d'équilibre. A présent, le poids P est réduit à p, le poids de mouvement, et alors la machine acquiert une vitesse x uniforme. Pourquoi uniforme alors que la force du fluide est similaire à un poids et que l'accélération de la pesanteur se fait ressentir sur ce poids ? Parce que même si le fluide frappe la pale avec une force donnée au départ, la pale va fuir devant le fluide, et donc la force du fluide va décroître. Le poids ne peut donc pas s'accélérer en dehors de la période initiale de mouvement, et il trouvera bientôt sa stabilité, avec une vitesse uniforme. Donc la vitesse du fluide par rapport à la pale B sera V-x, et l'effort du fluide sur la pale proportionnel à $(V-x)^2$. Par le quatrième principe, on aura donc : $V^2/(V-x)^2 = P/p$. On en tire facilement la valeur de x (la vitesse de la pale) :

$$x = \frac{V \cdot (\sqrt{P} - \sqrt{p})}{\sqrt{P}}$$

Notons maintenant u la vitesse du poids de mouvement p. Par le cinquième principe, on trouve que $x/u = (AB \cdot LH) / (AH \cdot LI)$, donc on peut en tirer u :

$$u = \frac{V \cdot (\sqrt{P} - \sqrt{p})}{\sqrt{P}} \cdot \frac{AH \cdot LI}{AB \cdot LH}$$

C'est à présent que la définition de l'effet général intervient, puisque celui-ci est égal à p.u :

$$p \cdot u = \frac{V \cdot (\sqrt{P} - \sqrt{p}) \cdot b \cdot c}{\sqrt{P} \cdot B \cdot C}, \text{ avec } B=AB, C=LH, c=LI, b=AH.$$

Différencions maintenant p.u par rapport à p et égalisons cela à 0 pour trouver l'extremum. Nous trouvons alors $p = 4/9 \cdot P$. *“Ce qui nous apprend que si l'on réduit le poids d'équilibre P aux (4/9), ce poids aura la proportion propre à faire produire à la Machine son plus grand effet, & cette proportion est comme on le voit aussi simple que générale.”*³³⁰

En injectant cette valeur de p optimale dans le produit p.u, l'effet général, on obtient : $p(\text{optimal}) \cdot u = (4/27) \cdot V \cdot P$. Or V.P est ce qu'on a dénommé l'effet naturel du fluide, par la

³³⁰ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 331

deuxième définition, c'est-à-dire la force motrice disponible, “*ce qui nous apprend que le plus grand effet qu’une telle Machine puisse produire, ne passe jamais les (4/27) du produit de P par la vitesse du fluide*”³³¹.

Avec ces valeurs, on peut aisément tirer la valeur de x (la vitesse optimale de la pale) : $x=V/3$. Ainsi la vitesse de la pale dans les conditions les plus parfaites sera d’un tiers celle du fluide.

La séquence de calcul se résume donc ainsi :

1. Calcul des moments
2. Mise en rapport (quatrième principe) des efforts du fluide (calculés suivant le premier principe c'est-à-dire la dépendance en V^2) en situation d'équilibre et de mouvement, permettant d'obtenir une valeur de la vitesse de la pale x en fonction de (P, p, V)
3. Considération géométrique de la roue permettant de calculer la vitesse u du poids p en fonction de la vitesse x de la pale, donc par une fonction dépendant de (P, p, V)
4. Calcul de l'effet général $p.u$, en fonction de (P, p, v)
5. Calcul de la différentielle de $p.u$ en fonction de p . L'égalisation à 0 donne la valeur de p en fonction de P , donnant le plus grand effet général
6. Cette valeur de p est réinjectée dans l'expression de $p.u$ pour donner l'effet général en fonction du produit $P.V$, c'est-à-dire l'effet naturel
7. Réinjection de p dans la valeur de x trouvée au point 2, donnant l'expression de x en fonction de V .

Par la suite Parent fait les mêmes calculs, mais cette fois en augmentant ou diminuant les rayons des différentes roues, pour lesquelles il trouve bien évidemment la même chose. Nous épargnons ici au lecteur le détail des calculs qui tiennent de la gageure, tant Parent est peu soucieux de pédagogie. Il en tire deux “*paradoxes*” :

1. “une puissance n’ayant que les 4/9 de sa charge, [produit] après un certain temps un plus grand effet, que si elle portoit beaucoup davantage.”³³²

³³¹ *Ibid.*: 332

³³² *Ibid.*: 333

2. “Quelque changement qu’on fasse à une Machine, son produit n’excèdera jamais (4/27) de son effet naturel, c’est-à-dire, de ce que la force motrice produiroit sans machine”³³³

Dans la suite, Parent se propose d’appliquer ses résultats à quelque chose d’utile, et se propose de déterminer quelle quantité d’eau une machine, du type qu’il présente, est capable d’élever pour une hauteur donnée. Cela lui sert ensuite à montrer que la vitesse relative du fluide contre la pale B ne sera pas directement proportionnel à l’effort qu’exerce ce fluide, ni au poids p correspondant pouvant être soulevé, ni à l’effet parfait ainsi produit. “*Donc même dans l’état parfait du mouvement, les effets ne sont proportionnels ni aux forces ou cause, ni aux efforts qui les produisent, comme on l’avoit cru jusqu’ici ; ce qui peut passer encore pour un troisieme paradoxe.*”³³⁴

2.C.a.ii ACTE II : LES MACHINES MUES PAR LES ANIMAUX (1714)

Il faut attendre 10 ans pour que Parent présente à l’Académie le mémoire complémentaire sur la plus grande perfection des machines, dont il dit pourtant en 1704 avoir déjà découvert les résultats. Ceci ne doit pas étonner de la part d’un académicien obsédé par les questions de priorité, et dont la malhonnêteté intellectuelle est presque proverbiale parmi ses collègues, à tort ou à raison.

Le second mémoire est une progression importante dans l’acception du concept d’effet de Parent, puisqu’il se propose de l’appliquer aux machines mues par des animaux, que ces machines soit hydrauliques ou qu’elles élèvent des poids solides. Le titre de la pièce, dont la lecture commence le 4 juillet pour finir le 7, est le suivant :

Second mémoire sur la plus grande perfection des machines, qui contient la resolution de 30 questions sur les charges et les proportions qu’il faut donner aux machines muës par des animaux, afin que la force motrice, faisant un effort constant, et allant de la rivière, qui convient à cet effort, produise tout l’effort dont elle est capable ; soit que ces machines sur un terrain fixe, ou qu’elles soient flottantes sur l’eau, qu’elles ayent des poids à élever, ou la résistance d’un ³³⁵ fluide à surmonter ; & du degré de perfection d’³³⁶ machines imparfaites ; problème qui a été promis ³³⁷ dans les mémoires de l’académie en 1704 [...]³³⁸

Concrètement, le mémoire s’organise en trois parties :

- Des machines qui élèvent des poids quelconques

³³³ *Ibid.*

³³⁴ *Ibid*, p.335

³³⁵ u, *lettre déduite, cachée dans la pliure.*

³³⁶ es, *idem.*

³³⁷ dans, *idem.*

³³⁸ *PVARS: 33, 1714, 233r^o-v^o*

- Des machines sur terrain fixe qui remontent des bateaux
- Des machines embarquées qui remontent des bateaux

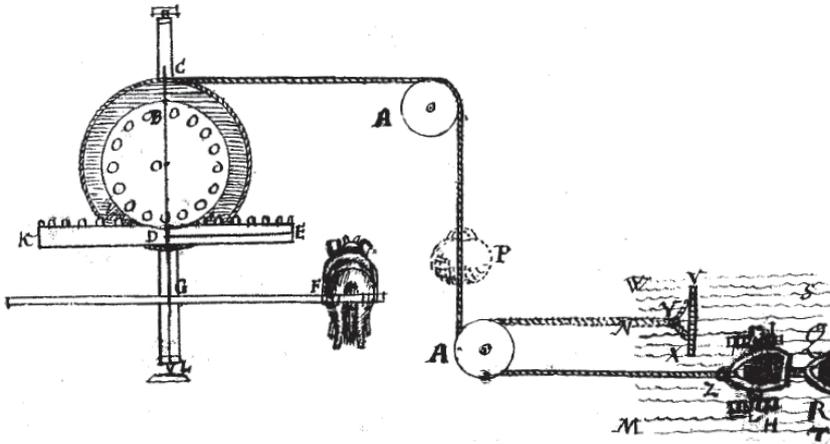


Figure 28 : Schéma général présenté en 1714 par Parent concernant la plus grande perfection des machines mues par les animaux.

2.C.a.ii.1 DES MACHINES QUI ELEVENT DES POIDS QUELCONQUES

La première est la plus simple à traiter. Comme on le voit sur la Figure 28, à gauche, le premier cas envisagé par Parent est la situation classique d'un animal servant de force motrice à une machine peu composée, à laquelle sont censées pouvoir être résumées toutes les autres. La force motrice est en F, et meut d'un mouvement rotatoire l'arbre CL, autour duquel est fixée une roue dentée KE engrenant elle-même dans une lanterne dont O est le centre, autour de l'arbre de laquelle est fixé un tambour autour duquel s'enroule la corde cAP, reliée au poids P.

Parent définit pour la commodité du calcul :

- $GF=A$; $DE=b$; $OD=C$; $d=OC$
- V : vitesse de l'animal F
- F : son effort contre P quand l'animal est animé d'une vitesse V .
- α : vitesse de P quand l'animal a la vitesse V .

De la même manière qu'en 1704, considérant la machine à l'équilibre, il trouve : $F.A.C = P.b.d.$ (1)

Or, par des considérations géométriques élémentaires : $\alpha = \frac{V \cdot b \cdot d}{A \cdot C}$ (2)

Pour connaître l'effet que cette machine produira avec cette charge P, et la vitesse α de P, il faut faire le produit $P \cdot \alpha$, puisque "le produit d'une machine augmente ou diminue non

seulement a raison des poids qu'elle élève ; mais encore a proportion de leur vitesse.”³³⁹ Dès lors, avec (1) et (2) :

$$P \cdot \alpha = \frac{F \cdot A \cdot C}{b \cdot d} \cdot \frac{V \cdot b \cdot d}{A \cdot C} = F \cdot V \quad (3)$$

Dans cette situation l'effet de la machine est égal à ce que Parent appelle l'*effet naturel* de l'animal. Cet *effet* est dit *naturel* car c'est le même “que l'animal produiroit s'il tiroit de même un poids égal à F , par-dessus une poulie simple, avec la vitesse V , sans l'aide d'aucune machine”³⁴⁰. Il rajoute : “ce qui fait voir que quand il s'agit d'élever <des>³⁴¹ poids avec des animaux, les machines n'augmentent <pas>³⁴² l'effet”³⁴³.

Mais ce simple calcul ne lui servirait à rien s'il ne pouvait attribuer des valeurs numériques à ces symboles. C'est la fonction des expériences empiriques dont nous avons relevés l'existence précédemment. Ici, Parent utilise les expériences de 1693 Sauveur et Sébastien que ces derniers relatent en 1714 (cf. chapitre 1) : un cheval peut élever 170 livres à 3 pieds par seconde.

Parent est parfaitement conscient du caractère *idéal*, pour le coup, de l'équation (3) : le “degré de bonté”³⁴⁴ de la machine dépendra alors des frottements, et correspondra au produit

$$\frac{P \cdot \alpha}{F \cdot V}$$

$F \cdot V$ sera donné par les expériences empiriques telles que celle de Sauveur, et correspondra à ce que la machine *devrait* produire, c'est-à-dire le poids levé par un animal en situation normale de travail en utilisant uniquement une machine simple telle qu'une poulie, réputée de peu de frottements, tandis que $P \cdot \alpha$ sera également une mesure, mais faite dans l'exercice du travail demandé.

Nous reviendrons dans la partie Analyse qui suit, sur le concept d'effet naturel chez Parent, ainsi que sur ce que l'académicien qualifie de degré de bonté de la machine.

³³⁹ *Ibid.*: 33, 1714, 235 r°

³⁴⁰ *Ibid.*: 33 1714, 235r°-v°

³⁴¹ des, mot déduit, caché dans la pliure

³⁴² pas, *idem*

³⁴³ *PVARS*: 33, 1714, 235 v°

³⁴⁴ *Ibid.*

2.C.a.ii.2 DES MACHINES SUR TERRAIN FIXE QUI REMONTENT DES BATEAUX

Pour la seconde situation, celle des machines mues par des animaux remontant des bateaux, le calcul est nécessairement plus complexe car il doit en passer par le calcul de la résistance ressentie par un bateau dans une rivière. Pour ce faire, il se propose de déterminer à quelle surface rectangulaire et perpendiculaire au fluide équivaut la surface courbe de la carène du vaisseau exposée au courant, en reliant le bateau à une table rectangulaire VX par l'intermédiaire d'une poulie (cf. Figure 28 à droite) : on enfoncera la table dans le fleuve jusqu'à ce que le bateau commence à se mouvoir. La surface ainsi déterminée en pieds carrés est appelée par l'auteur "résistance naturelle"³⁴⁵ du vaisseau. Pour avoir la résistance en livres, il faudra multiplier cette surface par le carré de la vitesse relative de l'eau par rapport au bateau, ainsi que par la masse volumique de l'eau.

Pour le calcul, il définit :

- u : vitesse absolue de l'eau
- m : "poids" ou "masse" de l'eau (Parent utilise indifféremment ces deux expressions), soit 70 livres par pied cube.
- g : "résistance naturelle" de la file de bateaux en pieds carrés
- F : effort naturel des animaux en onces
- α : vitesse des bateaux

Les bateaux sont choqués de la vitesse relative ($\alpha + u$) s'ils vont dans le sens contraire du courant, ($\alpha - u$) dans le cas contraire, et α si l'eau n'a pas de mouvement (étang, lac...).

La résistance P (en onces) de l'eau est alors respectivement de :

$$\left\{ \begin{array}{l} (\alpha \pm u)^2 \cdot g \cdot m \\ ou \\ \alpha^2 \cdot g \cdot m \end{array} \right. \quad (4)$$

Afin de déterminer des rapports, Parent rappelle divers résultats à la fois expérimentaux et théoriques de divers savants (Mariotte, Galilée, le père Sébastien, Huygens sur la chute des corps en une seconde, et sur la force de l'eau de la Seine. Il conclut, faisant la moyenne, que la force ressentie par une surface de un pied carré frappée par un jet de section d'un pied carré et de vitesse égale un pied par seconde, est de 22 onces. De la sorte, par une "analogie" stipulant que la force de l'eau dans les expériences susmentionnées est à la force

³⁴⁵ *Ibid.*: 33, 1714, 236 r°

des bateaux (c'est-à-dire leur "résistance naturelle") comme les 22 onces à $P = \frac{F \cdot A \cdot C}{b \cdot d}$ tiré de l'équation (1) précédente. Soit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1^2 \cdot 1^2 \cdot m}{(\alpha \pm u)^2 \cdot g \cdot m} = \frac{22}{F \cdot \frac{A \cdot C}{b \cdot d}} \\ \text{ou} \\ \frac{1^2 \cdot 1^2 \cdot m}{(\alpha)^2 \cdot g \cdot m} = \frac{22}{F \cdot \frac{A \cdot C}{b \cdot d}} \end{array} \right.$$

d'où, en remplaçant la valeur de α par celle de l'équation (2) :

$$\left\{ \begin{array}{l} F \cdot A^3 \cdot C^3 = 22 \cdot g \cdot b \cdot d \cdot (V \cdot b \cdot d \pm u \cdot A \cdot C)^2 \\ \text{ou} \\ F \cdot A^3 \cdot C^3 = 22 \cdot g \cdot V^2 \cdot b^3 \cdot d^3 \end{array} \right. \quad (5)$$

Arrêtons-nous un instant. Le lecteur attentif aura remarqué la ressemblance de la démarche de Parent avec celle de La Hire en 1702, dans son mémoire intitulé *Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux* (cf. chapitre 1), où ce dernier proposait de calculer la résistance des bateaux en livres, en réduisant la surface courbe d'un bateau à la surface rectangulaire et perpendiculaire au courant qui permettrait, à l'aide d'une poulie, de faire équilibre avec le bateau ; et en assimilant l'eau frappant ladite surface à un prisme d'eau en équilibre, dont la hauteur soit donnée par celle correspondant à la hauteur qu'il faudrait à un corps solide pour atteindre la vitesse relative de l'eau frappant la coque du navire. Ici, Parent s'en inspire largement, et on le voit au fait qu'il prenne en considération la vitesse de chute de corps solides par seconde de temps : de la sorte il montre qu'il assimile la force d'un jet sortant d'un réservoir vertical à la force d'un jet horizontal de même vitesse, et le fait de multiplier la surface d'exposition aux flots par la masse volumique de l'eau et sa vitesse au carré revient bien à considérer, du fait de la proportionnalité du carré des vitesses et des hauteurs de chute, qu'un jet horizontal ou vertical est assimilable à un poids ressenti dont la hauteur soit celle correspond à celle d'où doit tomber un corps solide pour atteindre la vitesse de l'eau au cours d'une chute libre. Cependant Parent ne fait pas explicitement référence aux prismes d'eau, ni à la méthode de La Hire. Partant de Mariotte, il est possible qu'il ne pense pas à La Hire, malgré les similitudes. Parent ne reconnaît à ce dernier, dans une ultime note rajoutée à son mémoire, que la similitude d'un seul des 30 problèmes en question, et encore

La Hire ne l'aurait seulement que "tenté" en 1702 : "*nos principes, nos méthodes et nos calculs sont pour la plûpart différents.*"³⁴⁶

De l'équation (5) Parent tire la valeur de g , c'est-à-dire la résistance naturelle en pieds carrés, qui va dépendre des rayons de levier de la machine, de F , V , et u . Or F qu'est-ce donc ? L'effort naturel des animaux mu d'une vitesse V . Et d'après les expérience de Sauveur et Sébastien, cet effort est de 170 livres, et 24 livres pour un cheval et un homme respectivement, soit 2720 onces et 384 onces respectivement. En multipliant par le nombre de chevaux ou d'hommes, et en remplaçant, on trouvera ainsi pour chaque machine la résistance naturelle en pieds carrés du ou des bateaux, c'est-à-dire le nombre de bateaux pouvant être remontés par une force animale quelconque. De même, Parent tire de (5) la force motrice F , qu'il suffit une fois le calcul fait, de diviser par 384 ou 2720 pour avoir le nombre d'hommes ou de chevaux nécessaire au travail. Il calcule de même les leviers de la force motrice.

Ce n'est qu'au dixième paragraphe, à la quinzième page de calcul, que Parent en arrive à traiter "*du plus grand effet dans le remontement des bateaux, et que cet effet peut augmenter indéfinim[en]t sans augmenter la force motrice, ny sa vitesse, en ralentissant la vitesse des bateaux*"³⁴⁷, une affirmation pour le moins surprenante. Il trouve en effet dans ce paragraphe que l'"exposant général de l'effet de la machine" sera :

$$\left\{ \begin{array}{l} g \cdot \alpha = \frac{F \cdot V}{22(\alpha \pm u)^2} \\ \text{ou} \\ g \cdot \alpha = \frac{F \cdot V}{22 \cdot \alpha^2} \end{array} \right. \quad (6)$$

α dépendant des rayons de leviers, il suffit de modifier ces derniers pour que la valeur de α change, sans affecter les vitesses de F et de V . Ainsi, dans les deux premiers cas, c'est-à-dire quand le bateau va contre le courant, ou dans le même sens, la valeur maximale de l'effet sera de $\frac{F \cdot V}{22 \cdot u^2}$, mais infini dans le troisième cas ($u=0$, c'est-à-dire un étang ou un lac). En première lecture, ceci semble absurde. Comment un effet pourrait il croître à l'infini ? Faut-il croire que notre académicien a cru trouvé une preuve du mouvement perpétuel ? Pas du tout. Ceci ne fait qu'illustrer le caractère brouillon voire confus de la présentation des calculs de Parent, qui lui a été si souvent reproché, à juste titre. $g \cdot \alpha$, en fait, n'est pas l'effet de la

³⁴⁶ *Ibid.*: 33, 1714, 245 v°

³⁴⁷ *Ibid.*: 33, 1714, 240r°

machine, mais ce qu'il appelle l'exposant général de cet effet. Si l'on veut retrouver l'effet, il nous faut reprendre l'équation (4) qui donne la valeur du poids résistant P de la charge, c'est-à-dire des bateaux, et la multiplier par α . On obtient alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} P \cdot \alpha = [(\alpha \pm u)^2 \cdot g \cdot m] \cdot \alpha \\ \text{ou} \\ P \cdot \alpha = [\alpha^2 \cdot g \cdot m] \cdot \alpha \end{array} \right.$$

Et donc en remplaçant $g \cdot \alpha$ par ses expressions trouvées en (6) :

$$\left\{ \begin{array}{l} P \cdot \alpha = \frac{F \cdot V}{22(\alpha \pm u)^2} \cdot [(\alpha \pm u)^2 \cdot m] = \frac{F \cdot V \cdot m}{22} \\ \text{ou} \\ P \cdot \alpha = \frac{F \cdot V}{22 \cdot \alpha^2} \cdot [\alpha^2 \cdot m] = \frac{F \cdot V \cdot m}{22} \end{array} \right. \quad (7)$$

Mais Parent ne se donne pas la peine de donner les équations (7). Il se contente de (6). Ce que Parent a en tête, en fait, est un effet au sens du nombre de bateaux remontés et de la vitesse à laquelle on les fait remonter : en effet la surface g est directement représentative du nombre de bateaux que l'on veut remonter. S'il fait de la sorte, pensons nous, c'est que pratiquement, ça n'est pas tant le poids résistant qui importe que le nombre de bateaux que l'on va charrier au cours du travail des bêtes et des animaux. De la sorte il importe plus au praticien de connaître combien de bateaux identique il va pouvoir remonter plutôt que le poids résistant, qui demanderait encore d'autres calculs pour pouvoir en tirer les informations voulus. Et le but de Parent, malgré les complications de ses calculs et ses principes abscons, est bien d'être utile aux praticiens et aux propriétaires. De la sorte, il ne faut pas comprendre que l'effet général, ou l'effet machinal, va pouvoir être augmenté à l'infini en gardant F et V constantes, mais que le nombre de bateaux pouvant être mu va pouvoir croître indéfiniment, si l'on modifie les bras de leviers de sorte que le rapport $b.d/A.C$ diminue indéfiniment, ce qui influence d'autant la lenteur de la progression (c'est-à-dire la vitesse α). Ceci lui fait remarquer que les "*effets ne sont pas proportionnels aux causes*"³⁴⁸ dans ce cas. Peut être veut-il de la sorte pointer du doigt la vacuité des notions de cause et d'effet, qui dépendent précisément de la définition qu'on en a. Par là même, son propre concept d'effet peut être vu comme une tentative de remettre de l'ordre dans ces choses, par une définition rigoureuse.

³⁴⁸ *Ibid.*: 33, 1714, 240 v°

2.C.a.ii.3 DES MACHINES EMBARQUEES QUI REMONTENT DES BATEAUX

Après ce qui ressemble à une mise en bouche pour Parent, l'académicien continue son calcul avec le cas des machines portées par les mêmes bateaux que l'on veut remonter contre le courant. Les machines auxquelles ils pensent sont précisément celles qui ont été présentées à l'Académie quelques années plus tôt, notamment celles mues par des rames tournantes à la manière de Du Quet. C'est par le biais de cette interrogation que Parent en vient à calculer l'effet des machines mues par la force des animaux.

Les choses se compliquent notablement, car le principe de ces rames tournantes est le même que celui des moulins à eau, c'est-à-dire qu'il va falloir considérer que, si le bateau remonte le courant, les aubes des pales ne vont pas frapper l'eau avec toute leur vitesse, mais avec leur vitesse diminuée de la vitesse du fleuve. En outre, il va falloir compter également la vitesse du bateau lui-même.

En effet, en appelant :

- α : la vitesse des aubes par rapport au bateau
- x : la vitesse du bateau par rapport au fonds de l'eau
- u : la vitesse de l'eau par rapport au fonds de l'eau

Il apparaît que l'eau est frappée par les pales avec :

- la vitesse α simplement, si l'eau est dormante et si le bateau est maintenu fixe
- $(\alpha-x)$ si le bateau est en mouvement contre le courant dans une eau dormante
- $(\alpha-x-u)$ si le bateau est en mouvement contre le courant dans une eau courante

Ceci posé il faut se rendre compte que l'eau va à la fois être un obstacle et une aide au mouvement, c'est-à-dire que le bateau va subir la résistance de l'eau sur la coque mais se propulsera par les aubes prenant appui sur l'eau, ce qui donne à Parent la possibilité de faire deux égalités à la base de son calcul, entre la force des animaux et la résistance de l'eau sur les aubes, et entre l'effort des animaux et le choc du corps des bateaux contre l'eau. Pour trouver ces égalités, il procédera comment précédemment, c'est-à-dire par "analogie" avec l'expérience d'une surface d'un pied carré frappée par un jet d'un pied carré de vitesse égale à un pied. Ces deux égalités sont :

$$F \frac{A \cdot C}{b \cdot d} = (\alpha - x \pm u)^2 \cdot 22R = P$$

et (8)

$$(x \pm u)^2 \cdot 22g = F \frac{A \cdot C}{b \cdot d} = P$$

On épargne ici au lecteur les détails du calcul aussi fastidieux que frénétique, par lequel Parent, sur la base de ces deux précédentes égalités, parvient aux valeurs de :

- la charge de la force motrice et la vitesse des bateaux, tout le reste étant donné (§.11)
- la force motrice et la vitesse des bateaux, le reste étant donné (12)
- la grandeur des aubes avec la vitesse des bateaux (13)
- la force motrice avec les rayons de la machine, et de plus ou la grandeur des aubes, ou la charge, le reste étant donné (14)
- les rayons de la force motrice, le reste étant donné, excepté les vitesses de l'eau et des bateaux (15)
- les rayons de la résistance, tout le reste étant donné excepté la vitesse des bateaux et celle de l'eau (16)
- la proportion de la force motrice à sa charge, laquelle donne le plus grand effet et de la valeur de ce plus grand effet. (17)
- de la vitesse des bateaux dans l'état parfait (18)
- la force motrice F et sa vitesse V tout le reste étant donné (19)

Attardons nous simplement sur le §17, où il est question du *plus grand effet*. A partir d'une valeur de x trouvé à partir des équations (8) ci-dessus, Parent applique le calcul différentiel et trouve que l'effet de la machine sera le plus grand qu'il se puisse si g, la résistance naturelle du bateau en pieds carrés, est égale à $\frac{P}{88u^2}$. Parent réinjecte alors cette valeur dans l'"exposant général de l'effet", qui, comme précédemment, n'est pas proprement l'effet, mais l'indicateur du nombre et de la vitesse des bateaux remontés.

Dans le 18^e §, Parent réinjecte la valeur précédente de g dans une valeur de x trouvé au §.11, pour trouver la vitesse des bateaux dans l'état de perfection. Il obtient $x=3u$ lorsque l'eau coule en même sens, et $x=u$ lorsqu'elle coule à contresens. Parent remarque que la première valeur est la même que celle trouvé en 1704. Il retombe ainsi sur ses pieds, 10 ans après. Remarquable. Mais ceci ne doit pas nous surprendre. Les machines à remonter des bateaux ne sont en somme que des moulins à eau à l'envers. Dans ceux dont il question en 1704, un courant d'eau animé les pales d'un moulin pour élever un poids solide. Ici, l'équivalent de l'élévation d'un poids solide est utilisé pour mouvoir des aubes de moulins contre le courant de l'eau. Ce que vient de découvrir Parent après 26 pages de calcul, c'est en somme la réversibilité des effets. Nous allons voir que ceci n'est en rien anecdotique.

2.C.b. ANALYSE DES MEMOIRES DE PARENT

Les mémoires de Parent sont tout à fait remarquables, à bien des égards. Il parvient à fonder une nouvelle approche de la machine en mouvement, tout en révélant les dépendances théoriques qui l'empêchent d'aller plus loin. Il ramène la machine dans le giron de la mécanique à partir de procédures inédites. Il définit un effet que peut produire la machine. Et la structure du problème qu'il se pose lui permet de prendre conscience d'une nouvelle voie à la maximisation : l'optimisation de cet effet.

Explicitons tout ce que cela veut dire.

2.C.b.i UN EFFET QUI RESTE TRIBUTAIRE DE LA STRUCTURE DU PROBLEME

On ne trouve pas dans le premier mémoire de 1704, contrairement à Amontons, un modèle général de la puissance et du travail des moteurs (humain, animal, machinique). La distinction moteur-machine n'est pas claire chez Parent, simplement parce que sa vision n'est pas rattachable à celle-ci. De quoi est-il alors question ? Le titre de son mémoire de 1704 donne une première réponse :

“Sur la plus grande perfection possible des machines, Etant donnée une machine qui ait pour puissance motrice quelque corps fluide que ce soit, comme par exemple, l'eau, le vent, la flamme, &c. & qui doit servir à élever des poids solides ou liquides, comme des pierres, de la mine, des eaux, &c. on se propose de trouver la charge qu'il faut donner à cette machine, & la proportion que ses différentes parties doivent avoir, afin qu'elle produise le plus grand effet possible, c'est-à-dire, qu'elle élève une plus grande quantité de poids dans un même temps, qu'avec toute cette charge, & toute autre proportion possible ; & dans cet état de déterminer la vitesse de chacune de ses parties, & la quantité de ce plus grand effet. De plus une machine étant construite au hasard, & étant mue comme la précédente, on détermine la vitesse de ses parties, l'effet qu'elle produira, & en même temps son degré de perfection.”³⁴⁹

Première limitation : il ne s'agit que des machines mues par les fluides ; seconde limitation : celles destinées à élever les poids liquides ou solides. Cela exclut par exemple les machines à remonter les bateaux, et toutes les machines mues par des puissances animées. Sur ces dernières, Parent énonce qu'on a déjà certaines règles. Ce faisant, il a en tête soit la statique de Descartes, soit la version galiléenne de la science des machines où l'invariance de $P.v$ figure. Nous traiterons ce point par la suite.

Cependant ces limitations sont encore trop ambitieuses. Désireux de traiter de tous les fluides, Parent ne traitera en fait que de l'eau. En effet, dans tout le reste du mémoire, il n'est

³⁴⁹ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 323

question que de moulins à eau, et jamais de vent ni de flamme. Parent veut croire pourtant que ces résultats soient applicables aussi à ces éléments. Il est vrai, nous pourrions mouvoir sa roue par un canal d'air en mouvement : simplement une telle machine serait parfaitement inutile aux travaux quotidiens. Car la théorie de Parent implique que les pales de la roue soient perpendiculaires à la direction du fluide mu. Or, à moins de disposer d'une soufflerie, on ne peut pas faire en sorte que le vent arrive sur une seule pale. Le vent appuierait sur toutes à la fois, et de la sorte se ferait équilibre à lui-même. Un moulin à vent, étant de structure tout à fait différente de celle d'un moulin à eau non seulement dans l'obliquité de ses ailes, mais également dans leur figure, la théorie de Parent est tout à fait impraticable pour celui-là. En particulier, la théorie de Parent et de ses successeurs, tel Pitot, ne sera utile que si l'on considère que la vitesse des pales est notablement inférieure à celle du fluide moteur.

Les bornes de cette application n'empêchent cependant pas l'académicien d'apporter un regard neuf sur la machine, qui modifiera ainsi la conceptualisation même de l'effet dans la science des machines préexistantes. Ce regard neuf est apporté doublement par la considération des vitesses relatives de l'eau et des pales dans les machines hydrauliques, et, de ce fait même, par la prise de conscience que la poussée maximale du fluide ne correspondra en rien à l'effet maximal comme on le pensait jusqu'ici.

2.C.b.ii ETAT PARFAIT ET OPTIMUM

Le point essentiel en effet, dans cette considération des machines hydrauliques, est de les regarder fonctionner, c'est-à-dire en mouvement. Ca n'a l'air de rien, mais jusqu'à Parent, les machines hydrauliques étaient entièrement appréhendées sous le schème de la statique, et le mouvement n'était pensé que comme un cas proche de l'équilibre. Parent remarque lui-même :

Depuis le temps qu'on s'est avisé d'employer des machines pour élever des poids, toute la perfection que les plus habiles machinistes ont pu atteindre, s'est bornée à les mettre d'abord en équilibre avec la charge qu'il s'agissoit de faire monter, & à diminuer ensuite au hasard cette charge [...] ou [...] quelque chose d'équivalent, afin que la puissance motrice l'emportant sur sa charge, elle mit la machine en mouvement. [...] ³⁵⁰

Pour les machinistes jusqu'à Parent, il suffit donc de chercher l'épsilon à retirer pour provoquer le premier mouvement : car, pensent-ils, plus la charge à élever sera proche de la charge d'équilibre, plus l'effet sera important. Pour eux, maximum d'effet se confond avec

³⁵⁰ *Ibid.*: 324

maximum de poids levé, “ce qui est en effet une pensée fort naturelle”³⁵¹ remarque Fontenelle.

Or, énonce Parent, le comportement d’une machine en équilibre n’est pas du tout celui d’une machine en mouvement. Une fois le poids d’équilibre remplacé par un plus petit, de mouvement, l’effet, si on le mesure par le produit du poids par sa vitesse, va être conséquemment plus petit. Mais dans le même temps, le poids étant plus léger, la force motrice pourra l’emporter avec plus de vitesse. Ce qui augmentera l’effet. En définitive, le mouvement implique l’interdépendance de P et de V. Il doit donc exister un poids et une vitesse tels qu’ils produisent l’effet le plus grand qu’il puisse être. Cet effet sera donné pour des proportions données, qu’il faut calculer. L’état ainsi atteint sera dit “de plus grande perfection”, ou “parfait”. On le voit, *Parent ne prend pas l’invariance du produit P.V comme une donnée*. Au contraire, il part de sa définition pour en dériver les conséquences.

Il y a donc dans cette simple considération un basculement total de la réflexion machinique : le mouvement de la machine n’est plus pensé comme une simple succession d’états d’équilibre. Le mouvement de la machine est pris en tant que tel, c’est un étant que la balance est impuissante à décrire, pour peu que l’on veuille en mesurer le produit.

Ceci est très visible dans les moulins à eau. En effet, lors du mouvement de la machine, la pale fuit devant le fluide. Celui-ci en retour, frappe la pale avec d’autant moins de vitesse, et donc de poussée. Paradoxe donc : plus la pale va vite, moins elle sera frappée et donc moins elle ira vite. Plus exactement, l’eau ne peut pas la frapper au-delà d’une certaine vitesse sans que la poussée soit alors moindre. En deçà, la pale est accélérée. Il existe donc une vitesse de stabilisation, comme l’évidence du quotidien le montre. La question est alors de savoir quelle est le rapport des vitesses de la pale et du fluide permettant le plus grand effet.

On le voit, la notion de *perfection* n’est pas celle d’*idéal*. Une machine idéale est un dispositif qui permettrait d’avoir en sortie l’expression de toute l’entrée de la machine. Si une telle machine n’est jamais concrètement observée, c’est que la matérialité de la machine implique un certain nombre de déperditions entre l’entrée et la sortie, et les frottements sont ce à quoi l’on pense en priorité. Or il n’est pas question de cela dans la notion de machine parfaite. La machine parfaite, c’est celle qui permet au plus grand effet d’advenir, en prenant en considération les contraintes structurelles de la machine : c’est le rendement maximal

³⁵¹ Fontenelle in *HMARS: 1704, H, 117*.

calculé non pas entre l'entrée et la sortie de la machine, mais entre le fluide moteur et l'entrée. En l'occurrence les contraintes structurelles sont données par le principe même de mouvement. C'est *parce que* la machine est en *mouvement*, *parce que* les pales sont le transmetteur mobile de la poussée et de l'effet du fluide, que la machine ne *peut pas* récupérer l'entièreté de cette potentialité.

Le mouvement implique, même dans l'état parfait, un retour fractionnel de ce que Parent appelle l'effet naturel du fluide. Cet état parfait est atteint pour un poids de mouvement égal à $4/9$ du poids d'équilibre, ou autrement dit de manière parfaitement équivalente : la vitesse de la pale doit être égale au tiers de la vitesse du fluide. L'effet de la machine, dit "effet général", sera alors égal à $4/27$ P.V, $4/27$ de l'effet naturel, défini comme le produit du poids d'équilibre par la vitesse de la rivière. En somme, l'extraction est bien faible, mais la perte est le coût du mouvement.

Ces résultats sont le fruit :

- d'un œil nouveau sur la machine, en mouvement et non plus en équilibre;
- d'une nouvelle définition de l'effet ;
- du calcul différentiel.

2.C.b.iii EFFET NATUREL, EFFET GENERAL, DEGRE DE PERFECTION, ET NON PROPORTIONNALITE DES CAUSES ET DES EFFETS.

On peut comprendre aisément la notion d'effet général de Parent, le produit du poids élevé par la vitesse de ce poids, que Parent appelle également en 1714 l'"effet machinal". On a déjà rencontré des occurrences de cette formule. La nouveauté cependant est, à l'instar d'Amontons, qu'il s'agit là du poids de *mouvement*, et non d'équilibre. On ne saurait trop insister sur ce fait. Avant Amontons et Parent, l'effet, même quand il est formulé par le produit du poids et d'une hauteur ou d'une vitesse, ne représente jamais qu'un poids d'équilibre auquel on donne une certaine hauteur ou une certaine vitesse. A peine mentionne-t-on parfois, et toujours de manière purement qualitative, qu'il faut compter "un peu plus" pour les frottements. Mais la démarche de Parent ne se confond pas avec celle d'Amontons : ce poids de mouvement ne recouvre pas la même notion que la force-pour-mouvoir du précédent académicien. Dans ce dernier cas, il s'agissait de la force nécessaire pour mouvoir un polissoir par exemple, en surmontant les frottements, dont le peson donnait la mesure. Ici,

nous n'avons pas de référence aux frottements. Entre les deux, réside ce caractère commun qu'une machine en mouvement n'est pas, ne peut pas être, décrite comme une machine à l'équilibre. Les exemples d'Amontons et de Parent donnent au moins deux raisons de ce fait, et montrent que les choses sont plus complexes qu'on avait pu les imaginer jusque là. Ce n'est qu'à partir d'eux que les machines, les hommes et les animaux vont pouvoir bénéficier d'une description qui tienne véritablement compte du mouvement, étape obligée de la constitution d'une mesure de l'effet. Ce n'est qu'à partir d'eux que va pouvoir commencer à se développer une science des hommes, des animaux et des machines au travail.

Mais comment comprendre l'*effet naturel* ? Cela est important, car Parent rapporte l'effet général à une fraction de l'effet naturel. L'effet naturel n'est pas ce qui est donné à l'entrée de la machine. L'effet naturel, c'est en quelque sorte la potentialité du fluide, c'est, en 1704, le produit du poids d'équilibre par la vitesse de la rivière. Or la vitesse de la rivière n'est pas la vitesse de l'eau qui frappe la pale, qui d'ailleurs elle-même n'est pas la vitesse de la pale. Mais Parent exprime cette idée d'une manière assez étrange. Dans son premier mémoire, une fois déterminé le poids d'équilibre P , et mesuré la vitesse V de la rivière, le produit $P.V$ est la mesure de cet effet dont le qualificatif de *naturel* est donné par le fait que "*c'est le même effet que si P étant mis dans une gondole sur l'eau EB , flotterait au gré de l'eau avec toute la vitesse du fluide*"³⁵². En somme l'effet naturel est "*ce que la force motrice produiroit sans machine*"³⁵³. Etrange. Car sans machine, précisément, l'eau ne peut rien *produire* : elle ne vainc aucune résistance. Un poids flottant sur une gondole dont la vitesse soit celle du fleuve, ne peut définir un effet, du moins pas un effet productif. Pourquoi alors rapporter l'effet général à l'effet naturel ? Ceci est-il bien pertinent ? Qu'y a-t-il donc derrière ce terme ?

En fait, Parent raisonne à partir des deux paramètres séparés que sont le poids et la vitesse. Une machine étant donnée, il s'agit de savoir tout d'abord quel plus grand poids peut être soutenu : P , sans vitesse puisque par définition il est à l'équilibre. Ensuite, quelle est la vitesse maximale de la pale possible pour élever un poids : V . Mais dans le premier cas, l'effet serait nul puisque la vitesse le serait aussi ; et dans le second l'effet serait tout aussi nul puisque si la vitesse de la pale a toute la vitesse de l'eau, la différence des vitesses est nulle et donc le fluide ne fait plus impression sur la pale, ce qui équivaut à ne lever aucun poids. Dans

³⁵² PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 326

³⁵³ *Ibid.*: 333

les deux cas, un effet nul. Le raisonnement de Parent consiste alors à prendre la plus haute valeur possible de ces deux paramètres pour former un produit où ceux-ci ne sont plus interdépendants.

Cette manière de former l'effet naturel peut alors être interprétée de la sorte : si la force motrice n'était pas un fluide mais une force animée, tels que des hommes ou des animaux, alors la machine pourrait récupérer l'entièreté de l'effet naturel, car il n'advierait pas de différence de vitesse entre la vitesse du fluide et celle de la pale. La structure de la machine, si on excluait les frottements, pourrait alors modifier les valeurs du poids et de la vitesse mais sans changer son produit, l'effet.

Cette interprétation se trouve corroboré par son second mémoire de 1714, où il commence par examiner le cas des machines mues par des animaux élevant des poids quelconques. Il y appelle alors encore *effet naturel* le produit de la force F des animaux par leur vitesse V , dont ils sont capables durant l'exercice normal de leur travail. Ces valeurs sont données par des expériences empiriques, telles que celles que Sauveur & Sébastien relatent la même année. Le concept reçoit le même qualificatif d'*effet naturel* parce qu'il existe une unité conceptuelle dans l'esprit de l'académicien entre l'effet naturel de la rivière, et l'effet naturel des animaux. L'identité de nature peut cependant poser problème puisque l'effet naturel d'un fluide ne peut jamais s'exprimer entièrement, le principe de mouvement de ce dernier impliquant de par sa simple existence une perte d'effet tandis que dans le cas de l'effet naturel des animaux, rien de tel n'advient, le coût étant donné par le frottement, non par les contraintes structurelles. Parent s'efforce de les penser ensemble, d'une part parce qu'il tend à la généralité du concept d'effet, et d'autre part parce que le modèle organique de l'effet s'impose à lui du fait de son antériorité comme modèle de compréhension et comme référence de mesure. En somme, l'*effet naturel* a vocation à pouvoir être réduit à un nombre de chevaux ou d'hommes.

L'effet naturel permet en dernière instance de signer l'équivalence entre les forces motrices, au-delà de leurs spécificités propres. L'intention de Parent est clairement de permettre une définition unique de l'effet, applicable à tous les types de situation et de forces motrices. L'effet naturel, dans chacun des cas, est une réserve de disponibilité. On le voit donc, l'identité de nature entre effet naturel et effet général est bien réelle, et se comprend par le biais de la référence au travail des agents organiques. C'est grâce à cette unité que Parent peut rapporter l'effet général ou machinal à l'effet naturel, ou proposer en 1714 la mesure d'un "degré de bonté" ou "degré de perfection" de la machine mues par des animaux et levant

des poids quelconques. Nous avons déjà parlé de ce rapport dans le paragraphe précédent, pour le texte de 1704, et vu qu'il ne pouvait pas décentement être appelé un *rendement*, puisque Parent n'inclut pas de références aux frottements. Il en va tout autrement en 1714, dans la première partie du mémoire, où l'académicien définit le rapport $\frac{P \cdot \infty}{F \cdot V}$ pour définir le degré de bonté ou de perfection de la machine mues par des animaux et levant des poids quelconques. Pour le coup, Parent signe là, dans le cadre limité de ce type de machine, une notion assez claire de rendement. On l'a vu, il existe une identité de nature entre l'effet naturel et l'effet général qu'il met ici en rapport, et l'effet général est vu comme une réserve de disponibilité. Parent semble alors considérer de la sorte que l'effet général est ce qui reste de l'effet naturel pour le fonctionnement de la machine. Il cite clairement les frottements comme source de déperditions.

Il existe cependant un autre problème, concernant le "degré de perfection" précédemment évoqué. Si les deux quantités sont bien commensurables, ce degré n'est pas un rendement au sens strict, car la manière de mesurer l'entrée, soit $F \cdot V$, est issue d'une expérience qui inclut forcément des frottements : F est la force des animaux allant d'une vitesse V , mesurée à partir d'expériences antérieures au travail lui-même, telle que celle des académiciens Sauveur & Sébastien où des hommes et un cheval lèvent un poids dans un puits, au moyen d'une corde passant par-dessus une poulie. Parent, faussement ingénu, feint de croire qu'une poulie n'est pas sujette au frottement, et qu'on peut ainsi déterminer le travail habituel d'un cheval ou d'un homme en examinant quel poids ces agents élèvent, et à quelle vitesse. Contrairement à Amontons, il ne prend pas soin de chercher une mesure dans laquelle toute la force serait employée à vaincre les frottements, obtenant ainsi en creux de la mesure des frottements, la mesure de la force des hommes. Il se contente d'une expérience telle que celle que Sauveur et Sébastien ont pu faire. Or dans une telle expérience, comme l'a montré Amontons, les frottements ne sont pas nuls, et même loin d'être négligeables. La raideur des cordes n'est pas non plus évoquée. Ceci ne laisse pas d'étonner, quand on sait que Parent a longtemps travaillé lui-même sur les frottements. Parent semble admettre que cette expérience empirique au cours de laquelle un cheval élève un poids au bout d'une corde passant sur une poulie, ne peut pas être dépassé en terme d'efficacité. C'est par rapport à cette situation que doit se comprendre son "degré de perfection", ou de bonté.

Il faut donc remarquer ceci :

- la référence est encore une fois une force animée, comprise comme une réserve d'effet, disponibilité de laquelle on va tirer l'effet général, c'est-à-dire l'effet réel et productif de la machine.
- l'eau seule ne peut pas travailler, c'est-à-dire ne peut pas donner un effet productif, sans la médiation d'une machine. Parent semble ici prendre de la distance par rapport à Fontenelle et Amontons dont les formulations laissaient à penser que les éléments *travaillaient* au même titre que les hommes (cf. *infra*). Cette différence apparaîtra beaucoup plus explicitement chez Daniel Bernoulli comme nous le verrons dans la suite.
- l'optimum dont parle Parent en 1704 est un optimum d'effet extrait du fluide, et non pas un optimum entre entrée et sortie de la machine. Mais le degré de bonté de la première partie du mémoire de 1714 est bel et bien un rendement (avec la restriction que l'on a vue), entre l'entrée et le produit.

Concernant ce dernier point, on voit qu'un concept de rendement n'est pas aussi aisé à construire qu'on pourrait le croire de prime abord. Il est intéressant de noter toute la distance entre les hésitations de Parent, et celles ses successeurs tels que Daniel Bernoulli ou Coriolis bien plus tard. Ils auront en effet une perception différente des calculs de Parent (du moins ceux de 1704) et ne les interpréteront plus comme le signe d'une *perfection* machinale, mais bien comme un optimum entre une entrée et une sortie, un rendement, entre un travail donné et un travail utile, ce que Parent commence à faire partiellement en 1714. Entre lui et eux - surtout Coriolis- les choses vont en effet se modifier : les progrès des objets techniques et de la théorie vont permettre d'espérer récupérer *idéalement tout* l'effet naturel du fluide, en modifiant la figure et le nombre des pales, c'est-à-dire en prenant en compte que le fluide frappe plusieurs pales à la fois (ce à quoi Parent est aveugle), et en créant des pales incurvées. C'est bien cela qui permettait à Parent dans la première partie de son mémoire de 1714, de parvenir à un concept de rendement, même limité. C'est cela également qui permettra à ses successeurs de penser la machine, toutes les machines, intégralement en termes de rendement.

Le mémoire de 1714 est également témoin de la réversibilité des effets. Comme nous l'avons dit, les machines à remonter les bateaux ne sont en somme que des moulins à eau à l'envers, c'est-à-dire que ce qui est la cause du mouvement dans les seconds devient l'effet dans les premiers, et réciproquement. Du côté des premiers, un courant d'eau meut une roue qui élève alors des poids ; de l'autre, l'équivalent de poids élevés (par des chevaux ou des

hommes) meut une roue qui prend appui sur le courant pour le remonter. Parent retrouve les mêmes résultats concernant la vitesse de la roue par rapport à celle du fluide dans l'état parfait, quand celle-là fuit devant le fluide (ce qui correspond à toute la situation du mémoire de 1704, et à la situation où le bateau va à contresens du courant dans le mémoire de 1714). C'est le concept d'effet parentien qui permet d'arriver à cette remarquable identité des vitesses dans l'état parfait. Au-delà donc des machines particulières, Parent propose une maxime simple pour la construction des machines hydrauliques, qui assure l'emploi optimal de la force motrice, et un effet indépassable. En outre, cette réversibilité des effets nous semble un pas vers ce que Coriolis appellera la transmission du travail. Pour ce dernier en effet, le travail mécanique est une substance qui se transmet au travers des rouages de la machine. Il compare le travail à de l'eau qui se transmettrait de proche en proche. Rien d'aussi abouti chez Parent certes. Mais la réversibilité des effets associée à la nature identique de l'effet naturel et de l'effet général nous semble un pas important en ce sens.

Il faut différencier ce que nous disons de la réversibilité des effets d'une quelconque proportionnalité des causes et des effets, avec laquelle Parent est au contraire très distant. Il montre en effet très bien dans ses deux mémoires que ce principe métaphysique est trop vague pour servir de règle. Tout dépend en somme de ce qu'on appelle cause. Par exemple, dans l'article IX du mémoire de 1704³⁵⁴, il remarque que dans l'état parfait du mouvement, si l'on substitue 1V, 2V, 3V, 4V, 5V, à V, et 1P, 4P, 9P, 16P, 25P à P dans la valeur générale du plus grand effet ($\frac{4}{27} V.P$), il en résultera les plus grands effets $\frac{4}{27} VP$, $\frac{32}{27} VP$, $\frac{108}{27} VP$, $\frac{256}{27} VP$, $\frac{500}{27} VP$. Ces plus grands effets sont entre eux comme les cubes des racines carrés des différentes forces du fluide, c'est-à-dire des causes qui produisent ces plus grands effets. Si l'on prend maintenant comme définition de la cause, les impressions que fait le fluide contre l'aube B, toujours dans l'état parfait : la vitesse relative du fluide à l'égard de B sera de $\frac{2}{3} V$, dont le carré $\frac{4}{9} V^2$ marque son effort, et donc lorsque les vitesses absolues du fluide seront 1V, ..., 5V, ses vitesses relatives contre A seront $\frac{2}{3} V$, ..., $\frac{10}{3} V$, dont les carrés qui marqueront les différents efforts du fluide, seront comme 4, 16, 36, 64, 100, c'est-à-dire comme les quadruples de 1, 4, 9, 16, 25. Donc les différents efforts sont entre eux comme les carrés des racines cubiques des différents effets qu'ils produisent. Conclusions : même dans l'état parfait du mouvement, les effets ne sont proportionnels ni aux forces ou causes, ni aux efforts qui les produisent.

³⁵⁴ HMARS: 1704, M, 334-335.

De même en 1714, prenant en considération ce qu'il appelle l'exposant général de l'effet, Parent montre que ce dernier peut augmenter indéfiniment, alors que la force motrice F ne change pas, non plus que sa vitesse V . Comme on l'a remarqué, Parent ne définit pas ainsi la possibilité d'un mouvement perpétuel : son propos revient à dire en réalité que si les bras de leviers sont modifiés de sorte que le bateau aille de plus en plus lentement, on peut remonter de plus en plus de bateaux, et ce donc, sans changer la force motrice ni sa vitesse. Dans le cas du "remontement" des bateaux donc, *"les effets ne sont pas proportionnels aux causes, non plus que quand il s'agit d'élever les poids par leur moyen"*³⁵⁵. De la sorte, il se place en porte-à-faux d'un Wallis, par exemple, pour qui l'effet implique nécessairement une cause qui lui soit proportionnelle.³⁵⁶

2.C.b.iv LES LIMITATIONS DU CONCEPT D'EFFET CHEZ PARENT

Mais ne nous y trompons pas : la pensée de Parent, pour originale qu'elle soit, et illustrée par son quatrième principe, reste par certains égards tributaire d'une pensée de l'équilibre, puisqu'il qualifie lui-même de "paradoxes" les résultats de 1704 auxquels il aboutit et que nous avons cités plus haut, à savoir :

- "une puissance n'ayant que les $\frac{4}{9}$ de sa charge, [produit] après un certain temps un plus grand effet, que si elle portoit beaucoup davantage."³⁵⁷
- "Quelque changement qu'on fasse à une Machine, son produit n'excèdera jamais ($\frac{4}{27}$) de son effet naturel, c'est-à-dire, de ce que la force motrice produiroit sans machine"³⁵⁸
- *"même dans l'état parfait du mouvement, les effets ne sont proportionnels ni aux forces ou causes, ni aux efforts qui les produisent, comme on l'avoit cru jusqu'ici ; ce qui peut passer encore pour un troisième paradoxe."*³⁵⁹

Ces paradoxes ne peuvent être ressentis comme tels qu'à partir d'une vision de la machine à l'équilibre. En effet, dans une statique du genre cartésien, si l'on diminue la charge à mouvoir, on pourra gagner en hauteur d'élévation, ou en vitesse, mais le produit de $P.v$

³⁵⁵ PVARS: 33, 1714, 240 v°

³⁵⁶ "Effectus sunt, causis suis adaequatis, proportionales", WALLIS, J., "Mechanicorum, sive Tractatus de Motu, pars tertia", Opera Mathematica, vol. 1, Hildesheim/New York, Georg Olms Verlag, 1972(1695): chap. I, prop. VII, 587 Cité par SCHMIT, "Equilibre et dynamique": 73

³⁵⁷ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 333

³⁵⁸ Ibid.

³⁵⁹ Ibid, p.335

restera inchangé. De même, dans une machine en équilibre, si l'on définit un effet comme étant égal à P.v, toute l'entrée se retrouve dans la sortie : il n'en va pas de même dans une machine en mouvement. Et nous avons évoqué le troisième paradoxe précédemment.

Bref, la pensée de Parent pourrait se résumer de la sorte : la machine parfaite n'est pas celle à laquelle le fluide donne une impression maximale.

Mais dans ce contexte, la référence anthropomorphique que nous observions chez Amontons et d'autres, est ici beaucoup moins visible. Comme nous l'avons remarqué, elle n'est cependant pas absente, en ce que l'effet naturel et son dérivé l'effet général, sont fondés sur une représentation animale de la force en mouvement. Néanmoins l'effet lui-même n'est pas vu chez Parent comme une substance ; ce qui n'empêche pas qu'une forme de transmission puisse avoir lieu, comme nous le supposons à partir du caractère identique de la nature de l'effet général et de l'effet naturel, de la réversibilité des effets, et de la vision de l'effet naturel comme d'une réserve de disponibilité dont l'effet général est un extrait plus ou moins parfait suivant la machine. La transmission ici ne présente pas un caractère aussi net que précédemment. Il nous semble cependant que l'on doit la prendre en considération, non seulement pour les raisons ci-dessus évoquées mais également de par le fait que les résultats de Parent vont être interprétés par ses successeurs comme tels, se reconnaissant ainsi dans une filiation.

Concernant la généralité du concept d'effet, on remarque que l'effet de Parent permet de traiter plus de cas que la *puissance continue*, cette dernière étant l'expression du travail sur l'instant des animaux ou des hommes appliquées à des machines, ou au moteur constitué par le moulin à feu dont le travail est connu par utilisation des théories sur la dilatation de l'air. Les nouvelles explorations de Parent permettent alors de rattacher l'effet des animaux à celui des machines hydrauliques comme il le montre en 1714, que celles-ci soient sur un terrain fixe ou elles mêmes en mouvement sur le bateau qu'elles doivent remonter. Cependant, il reste un élément à dominer : le vent. La théorie de Parent en effet, ne pourrait s'appliquer au vent que si les moulins pouvaient être frappés sur une pale uniquement, pale alors perpendiculaire à la direction du vent, ce qui n'est pas le cas des moulins réels. Pour ces derniers, Parent ne parviendra jamais à une théorie permettant d'en calculer l'effet défini comme il le fait en 1704 et 1714.

De plus, les résultats de Parent sont erronés. Smeaton le montrera empiriquement, mais c'est à Borda que nous devons la remise en cause théorique. Leur caractère fallacieux provient essentiellement de ce fait simple que notre auteur considère qu'une seule pale subit

le choc de l'eau, alors que plusieurs sont immergées dans le même temps. Borda rectifiera le tir théorique seulement en 1767³⁶⁰, et appliquera le principe des forces vives aux roues hydrauliques, mieux que ne l'aura fait Bernoulli³⁶¹.

Peut-on dans ces conditions, parler d'un antécédent de travail mécanique pour le concept d'effet de Parent ? Plusieurs indices concourent en ce sens. Le premier est que les deux mémoires de 1704 et 1714 traitent de l'effet naturel qui peut dans toutes ses occurrences se rapprocher des effets des bêtes au travail. Nous l'avons montré concernant l'effet naturel des fluides, dont le modèle est l'effet naturel des animaux bien que les contraintes structurelles puissent laisser penser une apparente dichotomie des situations. Il faut d'ailleurs remarquer à ce sujet que comme précédemment, la substitution des effets joue à plein, tacitement. L'eau courante pourra remplacer les hommes et les animaux dans leurs travaux, et c'est notamment sur cette base que Parent raisonne implicitement.

Ce dont il est question n'est donc pas une quantité immatérielle, ou motivé par un esprit de système. Il n'est pas question de trouver une mesure de la force, du moment, de la poussée, de l'effort, de l'action, non plus que de raisonner en termes de conservation. Le problème est ici entièrement pratique : ce qui importe, c'est l'effet productif et mesurable, c'est ce que la machine va produire en prenant comme moteur les hommes, les animaux ou l'eau, effet très concret dont l'expression mathématique $P.v$ va pouvoir recouvrir des choses aussi diverses qu'une quantité d'eau élevée avec une certaine vitesse, un poids élevé à une hauteur donné en un temps défini, ou le nombre de bateaux remontés à une certaine vitesse. En somme, l'effet est ici de l'ordre du productif, comme le signale Parent, pour qui les règles qu'il trouve doivent servir directement le propriétaire et le machiniste. C'est dans cet objectif pratique de la mesure d'une machine productive en mouvement que vient se placer cette mesure de l'effet qui, si elle peut avoir été inspiré par l'utilisation de l'invariant $P.v$ dans la science des machines galiléenne, et/ou la quantité de mouvement cartésienne, vient au contact de la problématique pratique, prendre un sens nouveau irréductible aux précédents.

En outre, l'effet n'existe pas simplement comme quantité d'action comme chez Descartes, c'est-à-dire un effet déjà existant et non produit dont on ne peut percevoir que l'équivalence, et non l'identité, entre les deux termes d'une application. L'effet de Parent est produit par une force, la force des animaux, ou la force de la rivière, c'est-à-dire par

³⁶⁰ HMARS: 1767, M, 270-287.

³⁶¹ Voir BELHOSTE & BELHOSTE, " La théorie des machines et les roues hydrauliques": 5-7B. pour un développement de la question.

l'impression du fluide sur la pale, ou par l'impression de la force musculaire sur les leviers de la machine.

Et, c'est essentiel, une machine dès lors en mouvement, offrant donc une rupture avec la science des machines à l'équilibre, puisque cette nouvelle description prend en compte le principe même de mouvement comme influant sur le poids capable d'être, non plus simplement soutenu mais soulevé, signant là une identité épistémologique, à défaut d'une identité de démarche, avec Amontons.

S'ajoute à cela, ou plutôt se calque à tout ceci, l'aspect économique de la démarche de Parent qui vise de manière convergente l'optimisation des effets mécaniques et des gains monétaires.

Ce sont toutes ces raisons qui nous amènent à parler d'un antécédent du concept de travail mécanique chez Parent qui, on le voit, se différencie notablement de celui d'Amontons, sa *puissance continue*. Le seul bémol que nous émettons est que l'origine de l'effet n'est pas explicitement donnée comme provenant d'une force qui se consumerait. Néanmoins, comme on l'a vu, ceci permettra tout de même à Parent dans son mémoire de 1714, de définir un rendement, ce qu'il ne fait pas en 1704. On peut alors considérer que Parent se place dans le stade technologique que nous avons défini.

2.C.c. UN FAUX ANTECEDENT : RØMER ET LES EAUX DE VERSAILLES

On trouve dans le septième tome des PV (de physique) pour la séance du 9 juillet 1678, un papier de Rømer³⁶² intitulé *Explicatio et usus regulae universalis pro calculo compendioso machinarum aquae in altum euehentium per motum equorum*, c'est-à-dire *Explication et usage d'une règle universelle pour le calcul abrégé des machines élevant l'eau grâce au mouvement des chevaux*.³⁶³ La transcription et la traduction de ce texte, dont il ne semble pas qu'elles aient été réalisées jusqu'ici, figurent en annexe.³⁶⁴ Il présente des points communs avec les recherches de Parent, et notamment le rendement qu'il propose dans la première partie de son mémoire de 1714. Parent s'en est-il inspiré ? Rien n'est moins sûr. Nous allons voir en effet que les choses sont beaucoup moins poussées que chez Parent, et

³⁶² Ole Rømer (1644-1710). Nous utilisons la forme internationale du nom de ce savant danois. A l'époque qui nous occupe, on l'écrit plutôt Rømer. Aujourd'hui, on le trouve souvent orthographié Rømer.

³⁶³ PV ARS: 7, 1675-79, 171r°-172 r° Un résumé figure dans ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*: 260-261

³⁶⁴ Nous remercions chaleureusement Isabelle Cogitore, professeure en Langue et littérature latine de l'Université Stendhal Grenoble 3 pour son aide en cette matière.

pour ainsi dire, ne recouvre pas grand-chose de plus que l'invariant de la quantité d'action de Descartes.

Cette règle est apparemment motivée par la problématique des jets d'eaux de Versailles. Cette préoccupation liée au plaisir et à la magnificence du roi, poussa les académiciens dans le sens d'une efficacité accrue des machines hydrauliques. C'est dans cette optique que se place Rømer, en expliquant l'essence de sa règle. Prenant soin d'expliquer pourquoi une machine à élever de l'eau peut être assimilée à une machine levant des poids, il propose de prendre les 4 valeurs que sont :

- la *valeur du cheval* fournissant la force motrice en livres, représentant le poids que le cheval tire vers le haut de manière perpendiculaire, à la même vitesse que celle à laquelle il marche
- la vitesse du cheval en *horaire* ; c'est à dire le nombre de pieds de trajet que le cheval accomplit en avançant d'un pas régulier en une heure
- la *hauteur* à laquelle l'eau est élevée depuis la surface jusqu'à la sortie
- la quantité ou poids de l'eau qui sort par heure, qu'on ramène facilement à des *pouces*

Il considère alors que le produit des deux premières valeurs et celui des deux autres, sont égaux : c'est cela qu'il appelle sa règle universelle. Cette règle est utile à la prévision, connaissant la force dont on dispose ("Cette règle est utile pour définir l'eau selon les forces connues du cheval"), et permet en outre de connaître les "*imperfections des machines*". Pour ce faire, continue Rømer, il faut calculer la valeur du cheval à partir des trois autres valeurs que l'on peut mesurer empiriquement, et comparer ainsi cette valeur avec celle connue du nombre de livres qu'élève un cheval verticalement (par des expériences antérieures empiriques, du même style que celles de Sauveur & Sébastien en 1694). La différence des deux donnera le montant des imperfections de la machine.

La messe est dite. Rømer montre de la sorte que ce n'est pas tant le produit du poids par la hauteur ou la vitesse qui lui importe, que la *valeur du cheval* en livres. Les produits qu'il calcule ne recouvrent pas plus que des quantités d'action dans une acception cartésienne, que Rømer n'a pas même l'idée de mettre en rapport. "Ce qu'on perd" alors, suivant son expression, est une force en livres. On ne peut pas alors considérer que Parent doive quoique ce soit à cette règle.

La lecture que fait Fontenelle de Rømer, quand il édite en 1729 le premier volume de l'histoire de l'Académie entre 1666 et 1698, est cependant sensiblement différente, puisqu'il

croit lire que ce qui marque l'imperfection de la machine est la comparaison des deux produits, sans préciser néanmoins si cette comparaison consiste en un rapport ou une différence. Mais entre 1678 et 1729, Parent puis Pitot sont passés par là.

2.C.d. UNE SCIENCE DE PROPRIETAIRES : NAISSANCE DE LA TECHNOLOGIE

2.C.d.i AUGMENTER LE PROFIT

Parent ne cache nullement ses intentions lorsqu'il rédige son mémoire de 1704. Il vise les propriétaires :

A l'égard des [machinistes non savants] qui ne sont qu'en trop grand nombre pour le malheur du public, on peut dire qu'ils font tout au *hasard*, & que les plus habiles d'entr'eux ne réussissent dans leurs entreprises, que parce qu'ils emploient souvent autant de force pour une seule machine, qu'il en faudroit pour en mouvoir plusieurs semblables. C'est de-là que sont venues tant de réformations de machines qu'on voit tous les jours, soit par les auteurs même de ces machines, soit par d'autres, qui le plus souvent n'ont pas plus de connoissance qu'eux, ce qui ne peut manquer de causer *un grand préjudice aux propriétaires*, aux machinistes mêmes, & à ceux qui s'associent avec eux.³⁶⁵

Dans un même mouvement sont associés hasard et gaspillage d'un côté, calcul et économie de l'autre.³⁶⁶ Ce discours se retrouve à l'identique chez Fontenelle, nous aurons l'occasion de le montrer au chapitre 5. La nouvelle science, à l'édification de laquelle Parent se propose de contribuer, doit permettre l'exact calcul de l'effet des moulins à eau, puis en 1714, de toutes les machines mues par des animaux élevant des poids quelconques ou remontant des bateaux. Comme il le dit lui-même, il met à la disposition des machinistes des proportions simples (tel que réduire le poids de mouvement à 4/9 du poids d'équilibre, ou faire aller les pales avec une vitesse égale à un tiers de celle de l'eau). Celles-ci permettront dans une perspective convergente l'optimisation des profits monétaires et des effets mécaniques. Comme nous l'exposerons le profit qui est visé ici n'est pas un profit "pur", l'expression rationnelle d'un égoïsme débridé. Au contraire, il s'agit en fait de fonder le profit dans un espace de justice (cf. chapitre 5)

Le but des deux mémoires se lit dans chaque problème que Parent se propose de résoudre et se résume à un mot : *combien* ? Combien d'hommes devrais-je utiliser pour réaliser tel effet donné ? Combien de chevaux seront nécessaires pour les remplacer ? Si je dispose de telle force motrice, combien d'effet puis-je espérer ? Quels rapports doivent avoir les bras de levier de ma machine ? A combien se montera l'effet parfait ? Parent vise à

³⁶⁵ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 324 Nous soulignons

³⁶⁶ SERIS, *Machine et communication*: 287.

soumettre la réalité laborieuse au seul empire du calcul prévisionnel. Toute sa vie est orientée en ce sens : calculer, prévoir, optimiser.

Optimiser, et non plus simplement maximiser. Parent montre en effet toute la vacuité d'une vision de l'effet calquée sur l'idée qu'une impression maximale donnera un effet maximal. La machine parfaite n'est pas cela, et c'est son concept d'effet qui le met en évidence. A partir de ce dernier, il devient possible de penser la machine sur le mode de l'optimisation : entre deux extrémités, entre deux valeurs de la cause, impression nulle ou impression totale, existe une valeur qui, liée à la vitesse, permettra l'effet optimal. La vraie maximisation est celle de l'effet d'un poids en mouvement, non l'effet quasi-statique d'un poids soutenu.

2.C.d.ii RENDRE LA MACHINE A SES LOIS NATURELLES

Il s'agit désormais de *se placer dans le jeu de la réalité avec elle-même*. De savoir comment la machine se place dans l'ordre des interactions dont elle est la médiatrice. Il faut comprendre la naturalité de la machine, en trouver les lois *naturelles*, trouver l'effet *naturel*, à partir desquels pourra être anticipé le comportement de la machine et l'effet optimal. Cesser le gaspillage issu de la méconnaissance et du hasard, pour faire advenir un optimum par une composition de la machine qui permette à la réalité seule, à l'effet *naturel*, de s'exprimer entièrement par un jeu avec elle-même. Pourquoi disons nous "par un jeu avec elle-même" ? Parce qu'une fois qu'on aura réduit le poids d'équilibre à ses 4/9, réalisant ainsi la maxime de Parent, la machine se règlera *toute seule* sur l'effet parfait, l'effet optimal.

Ceci n'a rien d'anecdotique. C'est, on l'a dit, toute une pensée de l'équilibre qui est brisée. Mais que veut dire cette pensée de l'équilibre ? Elle est en fait profondément liée à une pensée de la maximisation qui fait correspondre dans les machines le maximum de la force, le maximum de l'impression sur les pales des moulins par exemple, avec le maximum de l'effet. Dans une machine en équilibre, c'est bien en effet ce qu'il advient, car plus j'ai de force, plus je peux soutenir de poids. Mais prendre en compte le mouvement tel que Parent le fait, c'est renouveler d'un coup le concept d'effet, en montrant l'inadéquation de son acception antérieure dans le but même qu'il se proposait, la maximisation, et permettre alors la réalisation de ce but en lui adjoignant une servante, l'optimisation.

Dans cette optique, les rouages de la machine ne seront plus que l'expression matérielle d'une naturalité en même temps que d'un raisonnement économique, qui vient se

superposer à cette dernière puisque le gain optimal est désormais l'exact parallèle de l'effet mécanique optimal. Ce raisonnement économico-mécanique tient en peu de mots : obtenir le plus possible, avec le moins possible. Certes, on trouve des occurrences de cette idée bien avant Parent. Mais pour la première fois, on dispose d'un critère mesurable, et fiable, à partir duquel va pouvoir se réagencer cette idée. Ce qu'invente Parent donc n'est pas tant l'optimisation que la possibilité de l'optimisation des machines et de leur produit à partir d'une définition renouvelée de l'*effet*, séquence dans laquelle le calcul leibnizien est indispensable, rendant donc son avènement impossible avant la fin du 17^e siècle.

2.C.d.iii LE ROLE DU CONCEPT DE TRAVAIL MECANIQUE DANS LA NAISSANCE D'UN DISCOURS TECHNOLOGIQUE A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES

Or, trouver les lois naturelles des objets techniques, cela porte un nom : la *technologie*. Qu'est ce que la technologie ? Les historiens et philosophes de la technique en donnent plusieurs acceptions mais, au-delà de l'ambiguïté sémantique s'exprimant notamment en anglais, ils semblent tous admettre une différence de nature entre la technique ou la technologie moderne³⁶⁷ et ce qui la précédait avant la Révolution Industrielle, que l'on peut résumer de la sorte : *la technologie est une science de la technique*. C'est-à-dire pas seulement une technique rationalisée où le vocabulaire va être réduit en éliminant les doublons et les ambiguïtés, où les opérations vont être simplifiées, où la profusion des outils va être réduite et ceux-ci standardisés. Au-delà, la technologie consiste à déterminer les lois naturelles des objets techniques, et conséquemment à opérer dans le réel des dispositifs mettant en œuvre ces descriptions orientées dans le sens d'une efficacité toujours croissante. C'est dire que le monde vulgaire, les machines au travail, les objets productifs du quotidien, deviennent susceptibles d'une description non seulement rationnelle mais scientifique : connaître, c'est fabriquer.

Friedrich Rapp, tentant une intéressante synthèse dans *Analytical Philosophy of Technology*, utilise ce mot pour se référer "*to material technology which is based on action according to the engineering sciences and on scientific knowledge*"³⁶⁸.

³⁶⁷ On peut consulter à ce sujet la synthèse suivante : RAPP, FRIEDRICH, *Analytical Philosophy of Technology* (Boston Studies in the philosophy of science, vol. 63) ("Analytische Technikphilosophie"), Dordrecht, Holland, D. Reidel Publishing Company, 1980(1978), qui résume les ouvrages suivants : Mumford (*Technique et Civilisation*), Ellul (*La technique ou l'enjeu du siècle*), BECK, *Philosophie der Technik-Perspektiven zu Technik-Menscheit*, Dessauer, *Der Streit um die Technik* ; Gottl-Ottlilienfeld, *Wirtschaft und Technik*.

³⁶⁸ *Ibid.*: 35

Rapp attribue l'efficacité de la technologie moderne à la montée des sciences de l'ingénieur, montée attribuable à trois facteurs selon lui :

1. Une approche scientifique au sens large, consistant dans l'utilisation d'hypothèses de travail théoriques (rudimentaires) et d'investigations scientifiques, menant à des tests de données critiques sur les procédures
2. Au traitement des questions techniques indépendamment des autres objets d'étude. L'attention est désormais entièrement portée sur la structure des procédures, de la sorte que des problèmes technologiques spécifiques peuvent être identifiées et amenés à une solution optimale
3. La combinaison du savoir et de l'habileté technique avec une méthode scientifique mathématique, le facteur le plus décisif pour Rapp.

Conséquemment : *“technology, an outgrowth of the artisan tradition, has embraced science in its quest for increased efficiency”*.³⁶⁹

La recherche de l'efficacité préexiste donc à la science de la technique ou plutôt : elle en est le déterminant principal. Dans cette optique, il nous semble que l'on n'a pas suffisamment remarqué jusqu'ici 1° la naissance d'un discours technologique bien avant la Révolution Industrielle notamment à l'académie royale des sciences à l'entre deux siècles, 2° le rôle de la mesure de l'effet entendu comme travail, dans cette histoire.

En effet, tendre à une efficacité accrue n'est qu'un principe vague sur lequel tout le monde peut s'accorder, mais qui ne dit rien en soi sur la nature de cette amélioration. Avant qu'apparaisse un indicateur clair, une mesure de ce que l'on veut tendre à améliorer, l'efficacité est soit de l'ordre du qualitatif, vaguement définie et associée à une collection de caractères subjectifs, soit mesurée mais dépendantes d'une définition locale de l'effet.

Face à cette profusion, le travail mécanique permet d'ordonner les machines suivant un critère défini, mesurable, et surtout pertinent pour définir ce qu'elles produisent, ce qui est le point essentiel car les artisans ne créent pas des objets techniques pour le plaisir, mais bien pour en retirer un produit. Le travail mécanique permet de manifester dans le réel un principe de pensée. Il permet de diriger les efforts des ingénieurs.

Antoine Parent n'est donc pas simplement un scientifique, ou un ingénieur. C'est un technologue. Dans la définition que nous avons donnée, il mérite bien plus ce titre que son maître Filleau des Billettes qui se le voit pourtant attribuer dans l'Index Biographique de

³⁶⁹ *Ibid.*: 91

l'Académie des Sciences. Nous ne croyons pas que cette qualification soit un anachronisme, quand bien même le mot n'apparaisse qu'avec Beckmann en 1777 en Allemagne dans *Anleitung zur Technologie*. Parent fait partie d'un mouvement hérité de modes de pensée d'ingénieur, porté par nombre de savants à l'Académie Royale des Sciences d'alors :

- Guillaume Amontons, continuant ses activités d'ingénieur en plus de celle d'académicien³⁷⁰
- Joseph Sauveur, *examineur des ingénieurs* selon l'Index Biographique³⁷¹, et revendiqué par Parent comme son mentor
- Jean Truchet (dit le père Sébastien) et Jaugeon, mécaniciens, chargés de la description des arts à partir de 1692
- André Dalesme, inspecteur du matériel des ports de mer et inventeur notoire³⁷²
- François Chevallier, neveu par alliance de Sauveur, et gendre de Vauban formé à la fortification par ce dernier qui lui confie en outre les examens d'entrée du département des fortifications dès sa création en juillet 1691³⁷³.
- Michel de Senne, élève de Jaugeon, et ingénieur hydraulicien³⁷⁴
- Gilles Filleau des Billettes, maître de Parent, aussi responsable de la description des arts et métiers, et dont les connivences avec le Duc de Roannez ont été remarquées³⁷⁵ : on en voit le résultat dans la proposition de nouvelles écluses qu'il fait à l'Académie.
- Bernard Renau D'Elissagaray, ingénieur et officier de marine, dont la théorie de la manœuvre est connue

³⁷⁰ cf. *supra*

³⁷¹ INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique*: 453

³⁷² Cf. *supra* son *éolipile à pompes et sa machine à consumer la fumée*.

³⁷³ VIROL, *Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat*: 32. Sauveur prend la relève en 1702.

³⁷⁴ Michel de Senne fut très peu présent à l'Académie, déclaré élève vétéran le 17 février 1707, sans doute du fait de sa faible présence. Le qualificatif d'ingénieur hydraulicien que nous lui attribuons nous est suggéré par deux éléments. D'une part, il donne comme projet en 1699 dans les PV ce qui suit, dans un mode de pensée très proche d'Amontons et Parent : "Il s'engage aussy a un traité d'Hydraulique. Il y parlera de la pesanteur de l'Eau, de la puissance de l'homme, de celle du Cheval, et de celle des Eaux courantes, du rapport de leurs puissances et vitesses ont entr'elles, de la quantité d'eau que les hommes ou les chevaux peuvent donner selon les différentes hauteurs, de la longueur du temps qu'ils peuvent résister dans des travaux proportionnés à leurs forces moyennes, du Calcul des Eaux, et generalement de tout ce qui a rapport aux Hydrauliques" (PV ARS: 18, 1699, 140v°) Le second élément est qu'il va travailler des années plus tard à la réalisation d'un nouveau canal près de Pontoyse, entre l'Oise et la Seine, ce qui est en droite logique de son projet de 1699 (SENNE, MICHEL DE, *Certificat de nivellement fait en conséquence de l'ordre du Roy, du 10 décembre 1724, par M. de Senne, ... du nouveau canal près Pontoyse, entre la rivière d'Oyse... jusqu'à la Seine à Paris... proposé... le 30 de novembre dernier au Roy et à son Conseil par M. le C... de Jumelle et qui sera... exécuté par mondit sieur de Senne...* [Signé : Le Roy de Jumelle et De Senne, Paris, le 26 janvier 1725.], Paris, C.-J.-B. Hérissant, s.d.

³⁷⁵ MESNARD, Pascal et les Roannez.

- Philippe de La Hire, dont on a décrit certaines des préoccupations *supra*.
- Claude-Antoine Couplet, mécanicien, ingénieur hydraulicien

Parent est d'ailleurs conscient de cette identité de démarche lorsqu'il avoue le tribut théorique qu'il doit à quelques uns dans la préface de ses *Elémens*, lui d'ordinaire si avare à se reconnaître la moindre dette intellectuelle à qui que ce soit :

“Je diray cependant que si je me crois redevable à quelqu'un de quelque chose, ce ne peut être qu'aux ouvrages de messieurs Renaut sur la manœuvre, Mariotte sur les liqueurs, & de la Hire sur la Méchanique, qui sont les seuls dont il me soit resté quelque teinture. Mais je reconnois l'être par-dessus tout aux lumières de ce sçavant & illustre génie M. Sauveur, dont la seule modestie m'empêche de m'étendre davantage sur son mérite infini dans les Mathématiques et dans la Physique.”³⁷⁶

Ses modèles sont donc bien loin d'un Jean Bernoulli ou d'un Varignon, pourtant contemporains. Dans une lettre du second au premier, on comprend d'ailleurs ce qui sépare le monde de Varignon de celui de Parent. Après l'avoir décrit en termes peu flatteurs, Varignon énonce en effet :

“[...] il a fait contre moy une fausseté qui meriteroit punition corporelle en matiere civile: il a attaqué ce que j'ay donné de la courbure des fusées des montres à ressort, sans y reprendre pourtant autre chose, *si non que ce que j'en dis n'est pas de pratique* [...]”³⁷⁷

Le critère de vérité pour Parent est donc qu'une recherche doit être utile. C'est son credo, et il l'applique à tous les sujets qu'il traite à l'Académie.

Mais Parent se démarque de tous les autres “praticiens”, précisément en ce qu'il parvient à mettre explicitement l'effet, au sens d'un travail réalisé, au cœur de la description des machines, par une définition unique. C'est sur cet indicateur que va pouvoir se fonder désormais une amélioration des machines sur le registre d'une optimisation de ce facteur. Là où Amontons en restait à la mesure, Parent parvient à l'optimisation. Ce qui lui permet cela, c'est notamment sa maîtrise du calcul leibnizien des maximis et des minimis, ce dont ne sont pas capables Dalesme, Sébastien, Couplet, Chevallier, ni même Amontons. La Hire ne l'utilise pas non plus, sans cependant méconnaître du tout les problèmes théoriques qui agitent les détenteurs du calcul différentiel à la même époque³⁷⁸.

³⁷⁶ PARENT, ANTOINE, *Elémens de méchanique et de physique où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps avec l'explication naturelle des machines fondamentales*, Paris, Florentin & Pierre Delaulne, 1700: Préface, n.p.

³⁷⁷ Lettre n°109 de Pierre Varignon à Jean I Bernoulli du 11 mai 1709 in BERNOULLI, JOHANN I & VARIGNON, PIERRE, COSTABEL, P., et al. (éd.), *Der Briefwechsel von Johann I Bernoulli band 3, Der Briefwechsel mit Pierre Varignon*, Basel/Boston/ Berlin, Birkhäuser Verl, 1992: 265 Nous soulignons.

³⁷⁸ Contrairement à ce que certains ont pu avancer, tel Jean Bernoulli qui le raille, ou Varignon parlant d'un “mathématicien de vieux style”. La Hire, comme Parent, est stimulé dans sa recherche théorique par des problèmes pratiques. Cf. Intervention au colloque *La Hire de RADELET DE GRAVE, PATRICIA, "La mécanique de Philippe de La Hire (1640-1718)"*, in *Philippe de la Hire, entre architecture et sciences*, Paris (INHA, ENSA

La naissance de cette technologie, de cette science des techniques, limitée pour l'heure aux machines hydrauliques et aux hommes, a selon nous été notablement favorisée par la conjonction au sein de l'Académie Royale des Sciences de problématiques pratiques et d'ambitions théoriques, que Colbert dès la création de l'institution, se refuse à opposer. L'histoire du concept de travail mécanique, finalement, pourrait se résumer à cela : un dialogue entre machinistes et théoriciens, entre mécanique vulgaire et science théorique, entre exigences économiques et physique pure. Autrement dit : entre la graisse et l'Idée. Le concept de travail mécanique est l'interface entre ces deux ordres, ou pour ainsi dire, la fusion entre nature et culture, en même temps que le signe manifeste de leur unité.

2.C.d.iv LA TECHNOLOGIE N'EST PAS NEUTRE

Un autre point important à noter est que la technologie n'est pas neutre.³⁷⁹ Elle est orientée dès sa naissance balbutiante dans le sens de la recherche d'un gain maximal pour un coût minimal, dans la double acception mécanique et économique, ces deux registres se confondant dans la machine ou l'homme au travail. Elle est l'expression, dans la définition même de ce qui la fonde à son origine, d'une volonté de maximisation d'essence économique, se référant en fait dans le contexte culturel qui l'entoure, à une volonté de domination au double sens 1° d'une extension de l'empire de l'homme de la nature, et 2° d'une augmentation de la puissance étatique dans le jeu des nations européennes.

Sur le second point, ce qui est en jeu chez Parent de son aveu même, est l'augmentation du gain monétaire des propriétaires, en substituant le calcul au hasard. De la sorte c'est la possibilité d'une hausse de la productivité des machines, et donc de leur production, qui est mise en avant. Comme nous aurons l'occasion d'explorer plus tard, la pensée de Parent fait profondément sens avec une société baignée de mercantilisme et de concurrence monétaire internationale, tout en le dépassant.

Concernant le premier point, Parent est l'auteur d'une procédure qui permette d'assurer le gain le plus grand qu'il soit possible par extraction optimale des ressources de la

Paris-Malaquais, Académie d'Architecture), 2010 . Cf. aussi l'intervention de Antonio Becchi. L'ensemble des interventions de ce colloque devraient prochainement faire l'objet d'une édition.

³⁷⁹ *Il existe tout une littérature sur un sujet connexe à celui-ci, qui a trait au rapport entre technique et travail. Nous reportons le lecteur à l'historiographie que nous en faisons dans : FONTENEAU, YANNICK, "Penser le travail à l'époque moderne (XVIIe-XIXe s.) : introduction et perspectives", Cahiers d'Histoire, n° 110, 2009, pp 11-38: 25-26.*

nature (cf. l'*effet naturel* dont nous avons parlé *supra*). Parent semble ainsi réaliser le programme d'un Descartes ou d'un Bacon énonçant dans le *Novum Organum* :

S'il se trouve un mortel qui n'ait d'autre ambition que celle d'étendre l'empire et la puissance du genre humain sur l'immensité des choses, cette ambition, on conviendra qu'elle est plus pure, plus noble et plus auguste que toutes les autres. Or, l'empire de l'homme n'a d'autre base que les arts et la science, car on ne commande la nature qu'en lui obéissant.

On trouve à peu de choses près la même idée chez Descartes :

Au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'air, des astres, des cieux et de tous les autres corps qui nous environnent aussi distinctement que nous connaissons les divers métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres et ainsi nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature. (Discours de la méthode, VI)

Descartes n'entend cependant pas nier la nature ou la dominer au sens propre, mais plutôt la gérer dans le sens qu'elle serve au bien humain. Le *Novum Organum* précise:

La Science et la puissance humaine se correspondent dans tous les points et vont au même but ; car c'est l'ignorance où nous sommes de la cause qui nous prive de l'effet ; car on ne peut vaincre la nature qu'en lui obéissant ; et ce qui était principe, effet ou cause dans la théorie, devient règle, but ou moyen dans la pratique.

Les discours de Fontenelle montrent que ces assertions ne sont pas du tout obsolètes à la charnières des 17^e et 18^e s. Il semble en effet répondre à ces philosophes, lorsque des problèmes technologiques sont traités à l'Académie. Mais là où Descartes s'en arrête à la volonté de maîtrise et de gestion de la nature dans le sens d'un accroissement de la félicité humaine (en donnant l'exemple de la médecine), l'Académie des sciences pousse les choses un cran au-delà, en rattachant cette dynamique à la possibilité d'accroissements du profit mécanique conjointement à celui du profit économique des propriétaires. Ainsi, en introduction d'un mémoire traitant de la force nécessaire pour remonter les bateaux, Fontenelle énonce :

“Nous sommes dans un siècle où les arts cherchent à profiter des nouvelles lumières de la Philosophie. Comme la nature du mouvement est mieux connue, on voit naître plus de machines, ou du moins plus d'idées, qui d'ordinaire sont ingénieuses”³⁸⁰

Les buts sont énoncés sans ambage : “*remonter des bateaux contre le courant des rivières en épargnant des chevaux*”³⁸¹ et que les machinistes soient “*en état de prévoir sûrement l'effet de leurs machines*”³⁸². Ainsi, et c'est la conclusion de Fontenelle, “le

³⁸⁰ HMARS: 1702, H, 126.

³⁸¹ Ibid.

³⁸² ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, MARS: 1702, H, 126.

*raisonnement seul pourra plus facilement épargner les frais de l'expérience*³⁸³. La théorie doit se substituer au réel pour permettre par contrecoup une réalisation supérieure. Mais cette démarche est-elle utile ? En effet, les machinistes, tout ignares qu'ils puissent être selon certains, sont déjà parvenus à des solutions où le gaspillage n'advient pas. Ainsi en 1701, Parent s'était mis en tête de déterminer quelle devait être l'orientation de l'axe des moulins à vent par rapport à la direction du vent, n'étant pas sûr que ce fût là la pratique la meilleure :

“Par ce circuit savant, M. Parent n'arriva qu'à justifier la pratique commune. Il faut mettre l'axe des moulins dans la direction du vent : on les y mettoit ; mais on n'étoit pas si sûr qu'il les y faut mettre. Si c'étoit en quelque façon *un sujet de jalousie* pour les Savans qu'une machine si parfaite où la science n'a point eu de part, & où jusqu'ici elle n'a rien ajouté, ils devoient s'en consoler, parce qu'ils sont du moins les seuls qui ayent pû s'assurer pleinement de toute sa perfection.”³⁸⁴

Ce n'est pas la première fois que Parent est devancé par l'expérience. Ainsi dans un mémoire de 1700 où il cherche à utiliser la théorie des centres de conversion dans la détermination des forces de frottements, qu'Amontons avait étudiées l'année précédente par l'expérience, Fontenelle conclut :

“La géométrie de M. Parent, quoique dans une matière qui sembloit devoir échapper à la géométrie, la conduit au même point où M. Amontons étoit arrivé par l'expérience.”³⁸⁵

On comprend le caractère vexatoire de ces résultats pour un académicien aussi colérique que Parent, mais surtout pour le projet technologique mis en avant par Fontenelle. C'est pourquoi le secrétaire perpétuel prend soin de noter que seuls les savants sont capables de fonder les objets techniques dans l'ère de la certitude. Cela illustre la convergence des efforts des académiciens dans la réalisation d'une description scientifique des objets techniques productifs. Mais il semble que pour l'heure, ce projet technologique soit conçu comme une mise au pas de la technique par la science, où la seconde dominerait la première. Il faudrait quelque temps pour que la technologie trouve ses marques dans un espace qui ne sera ni complètement celui de la science, ni tout à fait celui de la technique, mais entre les deux, l'une ne pouvant se réduire à l'autre. La technologie est la construction d'un monde commun entre les deux.

Les objets techniques sont en dernière instance rattachés à une idée naturelle dont il faut bien comprendre tout le renversement qu'elle opère : auparavant, la matérialité de la

³⁸³ *Ibid.*: 1702, H, 134

³⁸⁴ *Ibid.*: 1701, H, 141

³⁸⁵ *Ibid.*: 1700, H, 152

machine était la preuve même de son caractère vulgaire. Elle échappait à toute règle, au monde des idées, et en cela elle était méprisante, comme le dit Amontons :

si le nom de Machine est quelque fois pris en mauvaise part, & s'il devient quelquefois méprisante, ce n'est en partie qu'à cause que le peu de règles que nous avons dans les Mécaniques ne suffisent pas toujours pour prévoir certainement l'effet que les Machines qu'on projette doivent produire dans leur exécution ; [...] de tous les Auteurs qui ont écrit des forces mouvantes, il n'y en a peut-être pas un qui ait fait une attention suffisante sur l'effet des frottemens dans les Machines, & sur la résistance causée par la roideur des cordes, ni qui nous ait donné des règles pour connoître l'une & l'autre, & les réduire au calcul³⁸⁶

Désormais, la matérialité même de la machine est intégrée à la naturalité. C'est bien cette matérialité qu'il faut connaître, puisqu'en elle réside à la fois une utilité (définie par un effet concret), et la composition de la machine (lanternes, leviers de bois, rivets...). Si elle se laisse difficilement réduire au calcul de prime abord, c'est simplement que les lois ne s'expriment pas isolément mais de manière composée, impliquant par là même une complexité d'un ordre différent. On le voit, c'est *l'idée même de nature* qui est modifiée, ou étendue jusqu'à pénétrer les objets du travail quotidien.

C'est cette dynamique qui s'achèvera chez Coriolis et ses collègues parlant d'un *travail de la nature* même. Alors le renversement est double : non seulement la matérialité grinçante est assimilée à la nature, mais mieux : c'est la nature qui va être en retour comprise par les notions tirés du fonctionnement des hommes et des machines. Pour l'heure Amontons, Fontenelle, ou Parent, quand ils évoquent le travail du vent, de l'eau ou du feu, ne le font que dans l'idée d'une substitution et de l'identité des effets ou du travail des divers agents productifs. Avec Coriolis, ce sera l'idée que l'eau, le vent, ou un poids, exerce directement un travail, à l'image d'un homme ou d'un cheval, qui se transmettra comme une substance dans les rouages de la machine, aboutissant à la sortie à une quantité directement mise en rapport avec l'entrée pour former un rendement. Pour Coriolis et les ingénieurs savants du 19^e siècle donc, la nature travaille. Pour Amontons, Parent, Fontenelle, c'est simplement l'identité des effets des agents productifs que sont l'eau, le vent, le feu, et les forces motrices organiques telles que les hommes ou les chevaux, qui est mise en avant.

³⁸⁶ AMONTONS, "De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la roideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre": 206

2.C.d.v PERFECTION DIVINE ET PERFECTION DES MACHINES : UN DIEU IMPLICITEMENT ENTREPRENEUR CHEZ PARENT

L'idée de perfection est constitutive de la pensée de Parent. Toute situation est pour lui occasion de recherche du terme parfait ou le plus parfait, défini comme optimal, c'est-à-dire réalisant non pas seulement un plus ou un moins, mais un plus grand qu'il soit possible pour le moins qu'il soit possible. Il traite ainsi en 1711 "*Des proportions des figures et du nombre des ailes des moulins à vent verticaux, qui sont propres à augmenter la force et diminuer les frais le plus qu'il est possible*"³⁸⁷, faisant suite à l'"*Analyse de la plus avantageuse disposition de l'axe des moulins à vent verticaux à l'égard du cours du vent*"³⁸⁸ de 1701. Cet aspect d'obtenir le plus d'effet pour le moins de dépense, que ces termes soient pris dans leur acception mécanique ou économique, est explicitement compris comme une *perfection*. Preuve en sont les deux mémoires de 1704 et 1714 que nous avons relatés ici, ou encore un mémoire de 1703 sur les moindres frottements où l'auteur énonce :

"[...] si l'on pouvoit avoir une methode po[ur] trouver la proportion qui dône la moindre résistance totale, la quantité [de] force qu'il faudroit ajouter à la puissance motrice afin de rom[pre] l'équilibre & d'élever le poids seroit alors la moindre qu'il se puisse. Ce qui doneroit aux machines toute la perfection qu'elles peuvent avoir du côté des frottemens"³⁸⁹

L'état parfait est pour Parent celui où le maximum possible est engagé. Ainsi, dans ses *Elemens* de 1700, proposant une distinction entre équilibre parfait et imparfait, Parent exemplifie son propos :

"il en seroit de meme d'un poids qui passant par-dessus une poulie en feroit monter un autre plus petit que luy toujours d'une même vitesse ; il se trouveroit dans cet état un équilibre imparfait : mais si l'un arrétoit l'autre il se trouveroit dans un équilibre parfait, c'est-à-dire, de toute la force"³⁹⁰ Si l'état parfait n'est pas possible en ce sens, il faut chercher l'état "de plus grande perfection", l'état optimal. Par exemple : "*Trouver la quantité d'eau qu'une vanne peut fournir a une hauteur donnée dans l'état le plus parfait*"³⁹¹ On pourrait multiplier les exemples à l'envie.³⁹²

³⁸⁷ PV ARS: 30, 1711, 229r°

³⁸⁸ Ibid.: 20, 1701, 126r°

³⁸⁹ Ibid.: 22, 1703, 225 v°. Nous soulignons.

³⁹⁰ PARENT, *Elémens de mécanique et de physique où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps avec l'explication naturelle des machines fondamentales*: 18.

³⁹¹ Ibid.: 336

³⁹² On trouve dans la même veine, en p. 248 du même ouvrage : "de la disposition la plus avantageuse des forces motrices, sur les leviers" Ou encore p. 284 : " Trouver le plus grand effet possible dans le choc d'un fluide qui agit contre luy même ou contre un autre fluide". Dans les PV de 1700 : "Des plus grand poids que peuvent soutenir les animaux à deux ou à quatre pieds". Dans ses *Essais et Recherches* [PARENT, ANTOINE, *Essais et recherches de mathématique et de physique. Nouvelle édition augmentée d'un 3e volume et d'un tiers au moins en chacun des deux premiers.*, 2^e éd., 3 vols., Paris, Jean de Nully, 1713] : "[...] il survient une question qui ne peut être que d'un grand usage, qui est de sçavoir dans quelle proportion on doit faire cette augmentation, afin que l'effet soit le plus grand qu'il soit possible" (vol.2, p.790, à propos du choc des corps

Le systématisme de cette idée invite à s'interroger sur son étendue. Quel rapport y a-t-il entre la perfection des machines et la perfection divine ? Une réponse réside dans le premier volume de ses *Essais et Recherches*, ouvrage étrange paru primitivement sous la forme d'une revue en mars 1703, puis, n'ayant connu qu'un unique numéro, mué en 1705 et 1713 en une compilation disparate de travaux de l'auteur publiés ou non, d'où se dégage une tonalité mêlant règlements de compte acides et projet pathétique d'œuvres complètes. Dans ce grand bazar de la pensée parentienne à la pagination multiple, se trouve un "*Premier discours sur la physique universelle ou Analyse des premières connoissances de l'homme touchant son être, son auteur, & la nature*"³⁹³ d'une petite soixantaine de pages, dont il ne semble pas qu'il ait été suivi d'un deuxième. Le premier chapitre traite de l'esprit humain, le second de Dieu, et le troisième de la nature. Parent y expose notamment sa conception de la perfection dans l'ordre théologique.

La pensée qui constitue notre être, dit-il, "*peut être éclairée, subtilisée & étendue de plus en plus ; [...] elle peut avoir en un mot tous les attributs qui regardent les sciences, & [...] elle ne peut les avoir que par sa communication avec son auteur, puisqu'elle tient tout de lui ou dans sa création, ou dans sa conservation.*" (p. 121) Ceci nous donne alors l'idée d'envisager "*notre Auteur [...] en tant qu'il nous donne de l'amour & du penchant pour la perfection; et cette [...] consideration nous fait connoître cet amour infini que Dieu a pour la souveraine perfection qui est luy même [...]*" (p. 123). Alors, par le biais de notre jugement, attribut de notre âme, et parce que notre pensée communique avec Dieu, "*nous aurons une connoissance des perfections qui sont en Dieu, & de leur communication, telle à peu près que nos foibles lumières nous la peuvent faire acquérir.*" (Ibid.). Autrement dit, les sciences sont une manière de découvrir la perfection de Dieu qui réside dans les lois naturelles. Notre pensée ne fait que découvrir la perfection divine présente tout autour de nous mais accessible uniquement par l'exercice de notre entendement. C'est dire que Parent est platonicien : l'homme découvre des vérités universelles et n'invente rien.

Dans cette logique, *découvrir* la perfection dans l'ordre de la matérialité grinçante de la machine, revient à gommer toute différence entre le naturel et l'artificiel, dans une veine déjà tracée par Descartes. Dès lors, *réaliser* la perfection en agençant cette matérialité pour en

fluides) ; "*Huit problèmes sur les proportions les plus parfaites des pompes*" (vol.3, p. 43 sq.) ; "*Sixième règle, pour mettre une machine qui élève des poids ou des pistons au moyen de l'eau ou du vent, dans l'état de perfection*" (vol.3, p.426).

³⁹³ Ibid.: 1, 99-155. Cette pagination est la troisième du volume

obtenir le plus grand effet possible revient à réifier la pensée de Dieu, de laquelle nous nous approchons par l'exercice des sciences *et* des techniques. C'est rendre palpable l'Idée par une réalisation concrète. L'homme devient de la sorte un petit démiurge, en rendant la machine à sa naturalité et à ses lois. Dieu et les hommes, la nature et les machines, communiquent dans un même esprit.

Mais ce faisant, Parent rapproche manifestement perfection naturelle ou divine et calcul. Un calcul qui n'est pas seulement rationnel : il est également calcul d'optimisation, obtenant le plus avec le moins possible. Pousser cette idée vers sa conséquence logique, c'est dire que Dieu est assimilé à un entrepreneur soucieux de maximiser son ouvrage par optimisation. Un thème qui, à la même époque, est le point central de la Théodicée de Leibniz. Ce Dieu entrepreneur n'est pas ainsi explicitement désigné dans le texte de Parent. C'est pourtant ce à quoi mène logiquement sa pensée.

La perfection à laquelle se réfère Parent n'est donc pas simplement une métaphore, un effet de langage. Découvrir la perfection, c'est découvrir la naturalité et découvrir la naturalité, c'est optimiser. C'est concevoir la nature en général et la machine en particulier comme un monde où le maximum n'est possible qu'entre deux extrémités, où les limitations ne sauraient jamais être nulles, car le cas échéant, l'ouvrage ne saurait parvenir à son maximum. Dieu se comporte avec la nature comme un entrepreneur avec son ouvrage. Ainsi nous n'assistons pas tant chez Parent à une interprétation théologique de l'idée de perfection, qu'à une interprétation économique de l'idée de nature.

2.C.e. LA SOCIABILITE SAVANTE DE PARENT : UN OBSTACLE A LA DIFFUSION DE SES IDEES

2.C.e.i LE DETESTABLE ANTOINE PARENT

Nous nous interrogeons ici sur les causes de la diffusion limitée des travaux de Parent sur l'effet, du moins jusqu'à ce que Pitot reprenne ses résultats. Nous l'avons dit, il existe des limitations proprement conceptuelles. Par ailleurs il existe également des obstacles concernant la description même des machines de production avant même de pouvoir leur appliquer le concept d'effet. Le moulin à vent en est un bon exemple.

Mais s'ajoute à cela la personnalité propre d'Antoine Parent, ainsi que son style d'écriture. Cette cause mérite également d'être rapportée ici, même si elle ne concerne pas

directement le concept. En effet, le cas de cet académicien est édifiant. Nous allons voir une fois de plus qu'entre hier et aujourd'hui, rien n'a vraiment changé dans la sociabilité savante.

Fontenelle, dans ses multiples éloges, se plaît à dépeindre des savants se sacrifiant sur l'autel de la science pour le bonheur de l'Homme et de la société, vivant dans le monde pur de l'esprit. Les caractères alors dépeints mettent en avant affabilité, désintéressement, et sociabilité, nécessaire pour une science qu'on estime encore nécessairement collaborative. Ceci est bien entendu une reconstruction, quel qu'en soit le but. Mais tout le verbe de Fontenelle est impuissant à engoncer Parent dans un pareil modèle de civilité. Il ne peut pas passer sous silence le caractère colérique de l'académicien, qui frise la violence. Ainsi dans son éloge de Parent, après nous avoir exposé, comme presque toujours, la vocation et le génie scientifiques précoces de Parent, étudiant la gnomonique à 14 ans, et préférant ensuite s'enfermer dans une chambre du collège de Dormans "pour se dévouer à son étude chérie", Fontenelle est bien obligé d'apporter une nuance :

M. Sauveur, qui ne pouvoit manquer de le bien connoître, m'a dit que c'étoit véritablement un genie rare, un *Aigle*, & cela en mettant à son éloge quelques restrictions que nous ne déguiserons pas³⁹⁴

S'acheminant vers l'inévitable, il dit plus loin :

"[Sa vie] n'est qu'une application continuelle à l'étude, ou plutôt à toutes les études, qui regardent les Sciences naturelles, à toutes les parties des mathématiques, soit spéculatives, soit pratiques, à l'anatomie, à la botanique, à la chimie, au détail des arts les plus curieux. Il avoit un feu d'esprit qui devoit tout, & ce qu'il y a de plus rare, cette ardeur si active n'étoit pas volage, ni aisée à lasser, mais constante & infatigable³⁹⁵

Et il avoue enfin :

Mais cette grande étendue de connoissances jointe à son impetuosité naturelle, le portoit aussi à contredire assés souvent sur tout, quelquefois avec précipitation, souvent avec peu de ménagements. La recherche de la vérité demande dans l'Académie la liberté de la contradiction, mais toute société demande dans la contradiction de certains égards, & il ne se souvenoit pas assés que l'Académie est une société. On ne laissoit pas de bien sentir son mérite au travers de ses manieres, mais il falloit quelque petit effort d'équité, qu'il vaut toujours mieux épargner aux hommes.

Personne n'a autant fourni que lui à nos assemblées, à quoi-qu'on traitât quelquefois avec assés de severité ce qu'il apportoit, il n'en paroissoit pas blessé ; son peu de sensibilité à cet égard lui persuadoit peut-être que les autres lui ressembloient, & le rendoit plus hardi à s'élever contre eux.³⁹⁶

Le langage académique de Fontenelle, qui a beaucoup de rapports avec le langage universitaire des temps présents, ne veut dire qu'une seule chose : Parent était ingérable, insupportable, insultant, violent. Associé à une méthode d'exposition brouillonne et un style

³⁹⁴ ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, MARS: 1716, H, 89

³⁹⁵ *Ibid.*: 1716, H, 90

³⁹⁶ *Ibid.*

embrassé, ceci influença directement la réception de ses mémoires, comme le note Fontenelle par la suite :

[...]On lui a reproché d'être obscur dans ses Ecrits, car nous ne dissimulons rien, & nous suivons en quelque sorte une loi de l'ancienne égypte, où l'on discutoit devant des juges les actions & le caractère des morts, pour régler ce qu'on devoit à leur memoire. Cette obscurité, qui tient assés naturellement au grand sçavoir, pouvoit venir aussi de l'ardeur d'un genie vif & bouillant. Quelquefois à la faveur de ce préjugé établi contre lui on se dispensoit un peu facilement de chercher à l'entendre, et je sçai par experience que sans être fort habile on y parvenoit, quand on vouloit s'en donner la peine. Ici je ne puis m'empêcher de rapporter à son honneur que dans une lettre écrite à son meilleur ami [Sauveur] deux jours avant sa mort, il me remercie de l'avoir, à ce qu'il disoit, éclairci. C'étoit convenir bien sincerement du défaut dont on l'accusoit, & pousser bien loin la reconnaissance pour un soin médiocre que je lui devois.

[...]La prévention où l'on étoit sur le peu de clarté de l'auteur, le peu de faveur qu'il s'attiroit par la liberté de critiquer, le peu d'ordre des matieres, ou l'ordre peu agréable, la forme incommode des volumes, car la bagatelle a son poids, tout cela, quoi-qu'étranger, a pû diminuer le succès.³⁹⁷

En somme, Parent n'a pas la pédagogie d'un Euler, et se rapproche plutôt d'un D'Alembert, et encore le D'Alembert des Opuscules. Au reste, ce que Fontenelle dit est exact, nous en avons fait l'expérience personnelle : l'ordre d'exposition des calculs crée une certaine confusion dans l'esprit, ses mémoires sont souvent chargés d'erreurs, les principes sur lesquels ils s'appuient pas toujours clairs, et les intermédiaires de calculs elliptiques, mais en s'armant de patience, on parvient à en comprendre les détails. Ces aspects ne sont sans doute pas étrangers au fait que son mémoire de 1704 n'ait vraiment été diffusé qu'à partir du moment où Pitot le réécrivra dans les années 20.

Il faut bien se rendre compte qu'en temps normal, tous ces défauts ne seraient jamais évoqués dans un éloge, qui n'a pas qu'une fonction biographique ou hagiographique, mais dont la diffusion concourt à dessiner un nouveau modèle de savant. Il faut donc que l'intensité en ait été extraordinaire pour que Fontenelle se permette ainsi de les exposer, même en prenant tout le soin de les excuser.

C'est ce que confirme une lettre de Varignon à Jean I Bernoulli, qui ne s'embarrasse pas d'un langage académique. Les excuses, Varignon n'en trouve aucune :

Quant au Sr Parent, je n'ay pas cru qu'il meristast que vous fussiez informé de son attaque contre vous: il en a attaqué bien d'autres, j'en suis aussi: il a fait contre moy une fausseté qui meritoit punition corporelle en matiere civile: il a attaqué ce que j'ay donné de la courbure des fusées des montres à ressort, sans y reprendre pourtant autre chose, si non que ce que j'en dis n'est pas de pratique: il propose lui un galimatias purement mecanique & de tentative presqu'inintelligible; car son talent c'est d'obscurcir tout, & un point qu'il avoit entrepris de vous demontrer que les trois angles d'un triangle rectiligne en valent deux droits, il vous feroit perdre de vue ce que vous en scavez³⁹⁸: sa fausseté consiste à avoir autorisé ce galimatias du signe de M. de

³⁹⁷ *Ibid.*: 1716, H, 91-92

³⁹⁸ *Varignon évoque peut être une démonstration effectivement réalisée par Parent dans son ouvrage de 1713: "Nouvelle démonstration de l'égalité qui se trouve entre le quarré de la diagonale, d'un triangle rectangle, & la somme des quarrés de ses deux autres côtés [...] par la voye méchanique, & sans le secours des proportions" in*

Fontenelle, en y marquant en capitales à la fin SIGNE FONTENELLE, comme si cet écrit eust été lu à l'Académie, & que M. de Fontenelle l' [e]ust effectivement signé: celui-ci lui ayant reproché sa hardiesse, il a répondu sans rougir que c'étoit une faute d'impression: comme si l'Imprimeur s'en fust avisé sans qu'il eust été dans son manuscrit, & comme si un nom séparé en grosses capitales lui eust pû échapper dans la correction de ses épreuves.

C'est, dis-je, un homme hardi, prest à tout entreprendre, vray ou non: homme qui ne scait ce que c'est que de se rendre, & qui se bat en geometrie comme en Logique. Aussi M. Saurin a-t-il jugé à propos de l'[a]bandonner sans lui faire aucune reponse; c'est ainsi que d'autres et moy l'avons laissé morfondre dans l'envie qu'il a de se battre contre tout le monde: il est un des Eleves de l'Academie, & s'il y en avoit quelques autres comme lui, il faudroit tous deserter; & ils ne manqueroient pas d'en venir aux mains entr-eux, tant il est violent.

Que cela soit dit entre nous: ce n'est que pour que vous ne vous comettie pas avec un tel homme: ce fut lui qui imputa un paralogisme à M. Hughens, lorsqu'il en commettoit un lui même dans le Journal des Sçavans de ... [23 mai 1701] Il a été fort mortifié à l'Academie d'avoir écrit contre ses confreres, jusqu'à avoir été obligé d'en faire réparation à M. Amontons qui s'en plaignit seul.³⁹⁹

Il ne fallait donc pas compter sur Varignon ou Saurin pour diffuser ses idées, ou simplement les prendre en considération.

2.C.e.ii DETESTABLES DETRACTEURS

Les excès de Parent amenèrent à une surenchère de ses détracteurs où les arguments rationnels cédèrent le pas à l'injure. Un cas tout à fait édifiant est celui de l'auteur anonyme du compte rendu du premier numéro du journal de Parent, dans le Journal des Sçavans de 1703. C'est un véritable massacre, d'une rare violence. Il est très probable que l'auteur en soit Joseph Saurin.⁴⁰⁰

PARENT, Essais et recherches: 485 sq. N'ayant pas eu la première édition entre les mains (celle de 1705), nous ne saurions dire si Varignon évoque cette démonstration réelle, ou s'il ne fait que charger le colérique académicien.

³⁹⁹ *Lettre n°109 de Pierre Varignon à Jean I Bernoulli du 11 mai 1709 in BERNOULLI & VARIGNON, Der Briefwechsel von Johann I Bernoulli band 3: 265-266 Sur l'affaire Amontons-Parent, cf. infra.*

⁴⁰⁰ *C'est l'hypothèse formée par Jeanne Peiffer et Jean-Pierre Vittu in PEIFFER, JEANNE & VITTU, JEAN-PIERRE, "Les journaux savants, formes de la communication et agents de la construction des savoirs (17e-18e siècles)", Dix-Huitième Siècle, n° 40, 2008, pp 281-300 Celle-ci nous semble très vraisemblable pour 4 raisons : 1° Saurin était membre, des rédacteurs du Journal des Sçavans de 1702 à 1708, en charge des mathématiques, 2° l'auteur de l'article du Journal cite la date et l'heure de réception d'une lettre envoyée de Parent à Saurin, avec une précision qui montre au moins une intimité de l'auteur avec Saurin, 3° Parent lui même attribue l'article à Saurin, dans le tome II des Recherches, pp. 314, 329, et 338 de l'édition de 1705 (Parent cite cependant le journal du mois de mars 1703, tandis que l'article n'a paru qu'en avril), 4° la verve véhémence de l'auteur de l'article est précisément l'une des caractéristiques de l'ancien prédicateur calviniste qu'est Saurin (d'après l'éloge de Fontenelle de 1737). Pour justifier le second point, nous transcrivons ici l'extrait de l'article en question, dans lequel la lettre de Parent est citée, tandis que les intentions de Saurin sont symptomatiquement louées (pp. 246-247) : "Le premier mémoire qui se presente dans ce volume, est une retractation de l'auteur [sur quelques démonstrations des theorèmes de Huygens sur la force centrifuge des corps mus circulairement, qu'il avait attaqué et qui se sont trouvés réaffirmées par Saurin dans les mémoires de Trevoux de Novembre et décembre précédents]. [...] Il finit ce premier article par ce court avis: J'ay communiqué une copie de ce memoire à M. Saurin le 7. Fevrier, avant que le journal de Trevoux parut. M. Saurin nous a appris qu'il ne trouvoit pas cet avis exact: il dit qu'afin que la verité fut icy exposée toute nüe, au lieu de ces mots, Avant que le journal de Trevoux parut, il faudroit lire ceux-cy: à 4. ou 5 heures au soir le jour même que le Journal de*

Il faut dire ce qui est : les *Recherches...* de Parent, sont un capharnaüm de mémoires épars, à l'édition bâclée⁴⁰¹ (plusieurs paginations dans un même volume, deuxième tome commençant à la page 157...), présentant des suppléments à ses divers mémoires parfois également édités dans le même ouvrage, suppléments eux-mêmes supplémentés par des commentaires et notes compris dans une table des matières qui est en même temps une compilation des errata (ce qui peut faire croire en première approche qu'il n'y a pas de table) ; les mémoires sont parfois difficiles à lire, et pas tous aussi neufs que l'auteur les présente. Tout cela est vrai. Mais il s'en dégage aussi un arôme de miscellanées assez plaisant, la théologie côtoyant la science des chocs, les monstres marins, et l'exercice critique de textes de grands auteurs. Certains sujets, au moins dans l'édition de 1713, sont en outre inédits et traités de manière originale. Et quand même bien les *Recherches* fussent le plus mauvais livre du monde, personne ne mérite le genre d'humiliation publique à laquelle se livre l'auteur anonyme, du compte rendu dans le *Journal des Sçavans* de 1703. La lâcheté le dispute ici à l'ironie, la cruauté et la délation. Joseph Saurin, puisqu'il semble bien qu'il soit ce fameux auteur, débute par l'ironie :

il y a bien des dehors à passer pour venir aux mémoires contenus dans ce petit volume: Preface, Projet des nouveaux journaux, ensuite avertissement; et puis avertissement encore. Si le public ne se trouvoit pas suffisamment instruit sur le dessein de l'auteur, ce ne seroit pas, comme on voit, faute de Préfaces."⁴⁰²

Il poursuit :

"2. Il a crû rendre un autre service au public, non moins avantageux que le precedent, de joindre aux Extraits des journaux, ses réflexions en forme d'analyses sur les ouvrages des auteurs les plus celebres qui ont traité des matieres de mathematique, & de physique, particulièrement de ceux qui estant morts, ne sçauraient se reformer"

Il entame alors une descente en flèche : (p. 246)

"Si ce projet estoit bien executé, il seroit sans doute d'une utilité considerable: mais il paroît hardi, & delicat à l'égard des Réflexions En Forme D'Analyses. Ce n'est pas un ouvrage aisé que la critique des plus celebres Auteurs; & l'on n'est gueres disposé dans le monde à faire grace à qui oseroit l'entreprendre avec plus de confiance que de lumiere, & de justesse d'esprit. Les autres parties que le projet renferme demandent aussi beaucoup de discernement & d'habileté dans le nouveau journaliste. Je ne sçay si ce premier Essay previeindra favorablement le public.

Trevoux parut. *C'est avec peine qu'il [Saurin] releve cet endroit; & il n'auroit eu garde de le relever, s'il n'estoit conçu d'une maniere qui pourroit faire penser qu'on [Saurin] a profité contre M. Parent dans le journal de Trevoux, du memoire communiqué par M. Parent même. Car au reste M. Saurin ne prétend pas attaquer la bonne foy de M. Parent, ni empêcher que le public ne croye que cet Auteur a reconnu de luy-même sa méprise au sujet de M. Hughs, et qu'il n'a point tiré le fonds de sa démonstration, de celle qui est dans les memoires de Trevoux.*"

⁴⁰¹ Nous n'avons eu entre les mains que la seconde édition, de 1713, encore augmentée par rapport à la première de 1705.

⁴⁰² *J. savants: 1703, 245*

Dans un des Avertissemens, l'Auteur des *Recherches*, nous "déclare une fois pour toujours que son but n'est point icy de chatouiller nos oreilles par des tours de parler affectez; mais que n'ayant au contraire que la vérité en veüë, il nous l'exposera, le plus qu'il sera possible, toute nuë; afin que notre esprit en puisse contempler les beautez, sans en estre détourné par nos sens". On voit bien que ce n'est pas par impuissance que cet Auteur renonce aux *tours de parler affectez*. Il en est d'autant plus à louer, de preferer ainsi par choix *la vérité toute nuë* aux vains ornemens du discours. On trouvera cependant qu'il nous tient un peu trop parole sur la négligence du style, & qu'il ne nous la tient pas assez sur l'exactitude des choses. En évitant ces deux defauts, on pourroit faire un excellent journal."

L'auteur sait parfaitement à qui il parle. Dans un style qui révèle un vrai talent pamphlétaire, il suggère la concupiscence chez un homme dont il connaît l'extrême religiosité, étant, selon le mot de Fontenelle, d'une pratique religieuse non seulement exacte mais austère. Ce discours affuble Parent d'un masque d'emphase, de vice, et d'incompétence. Il est écrit pour blesser. Il faut continuer, pour voir ce qu'il en est réellement de la belle civilité idéale mise en avant par Fontenelle :

Les Extraits qui composent la premiere partie de ce journal, sont tirés des actes de Lipsic de 1682. Voicy les titres des morceaux de physique: *D'un monstre multiforme sorti d'une riviere*. C'est ainsi qu'on rend le titre du Journal de Lipsic, pour ne pas chatouiller nos oreilles [....]

D'un autre mémoire, il conclut péremptoire:

On en tire trois mots sur la vertu d'une plante nommée assazoë contre les serpens.

A plusieurs reprises, Saurin accuse Parent de ne pas être au fait de l'état de la science qu'il pratique, cherchant à ruiner sa réputation Ainsi, à propos d'un mémoire de Leibniz que Parent complète car le philosophe n'y donne pas la démonstration de la solution, Saurin juge :

Comme il n'y a pas deux manieres de faire cela, on ne sera pas surpris de trouver le même calcul dans les Actes de Lipsic de 1684. où M. Leibnits donnant au public sa methode, connuë alors de peu de personnes, l'applique au sujet present (p. 471.) & fait là, ce que M. Parent fait icy. On trouvera encore la même solution, & le même calcul dans les Elemens de dioptrique de M. David Gregory, professeur en astronomie à Oxford (pag. 48. & suiv.).

Et sur la réception par les cartésiens :

Il ne faut pas oublier que dans le Mémoire de M. Leibnitz les causes finales sont maintenuës dans leur bon droit contre la violence de M. Descartes, qui veut les bannir de la Physique. L'auteur de l'Extrait [Parent] se declare aussi en leur faveur avec beaucoup de force, & interesse même la providence & la religion dans leur défense. Le zele de M. Parent est édifiant; mais on craint que les Cartesiens, gens peu dociles, n'en soient pas plus touchez, que de *la tres belle reflexion* que m. Leibnits a fait contre eux.⁴⁰³

⁴⁰³ Dans la même optique Saurin dit clairement que Parent ne sait pas de quoi il parle (pp .248-249) à propos du mémoire suivant du journal de Parent, écrit par Tschirnaus sur les caustiques par reflexion : "il n'y a point de geometre qui ne sçache que M. Tschirnaus s'est mépris, & que par sa construction il se forme une toute autre courbe que la caustique proposée. Cet illustre auteur a reconnu luy-même, & corrigé dans un autre endroit la faute qui luy est échappée dans celuy-ci. Elle a aussi été relevée par M. de la Hire dans un mémoire assez long, & fort bien communiqué à l'Académie des Sciences en 1686. & imprimé en 1694. à la fin de son excellent *Traité des Epicycloïdes, & de leurs usages dans les Mechaniques*, où tout est démontré à la manière des anciens il auroit donc esté à desirer que l'Auteur des *Recherches*, eût fait usage dans cet Extrait, comme il l'a fait dans le

La violence croît encore à propos des remarques critiques des ouvrages de Descartes que Parent publie :

Il ne reste plus que les Remarques critiques sur les ouvrages des plus celebres auteurs. C'est la seconde partie des principes de M. Descartes que l'on examine icy. Nous n'avons garde de juger des lumieres & de l'esprit de M. Parent, par les reflexions qu'il a faites sur les articles qu'il a touchez. Nous le croyons capable d'en faire de meilleures: mais en verité il est inexcusable d'avoir jetté de pareilles remarques sur le papier sous le vain titre d'Analyse de la Philosophie de M. Descartes. Voicy un échantillon de ces remarques. C'est sur le premier Article.

[...] L'auteur du nouveau Journal après bien des raisonnemens extraordinaires, poursuit de cette force: "Afin cependant que personne ne prenne icy le change par avance, & ne s'imagine que je n'admets d'Estre que Dieu & des esprits créés; j'avertis que je conçois que l'idée produite de Dieu, c'est à dire le terme de l'entendement divin, est un veritable Estre, soit spirituel, soit corporel, selon la nature de cette idée produite. au lieu que dans les esprits créés, ce terme, cette idée produite n'est qu'un simple mode de la substance spirituelle; & c'est la difference qu'il y a entre l'Esprit Createur & l'Esprit créé; sans cette difference, la creature seroit elle-même un Createur; ou, le Createur n'auroit plus la faculté de creer, & ne seroit par consequent luy-même qu'une simple creature: Mais cette idée produite en Dieu n'est point encore sortie au dehors, jusqu'à ce qu'elle ait esté manifestée à ses creatures." Ne sied-il pas bien à un Auteur qui raisonne de cette maniere, & qui a de telles idées, d'accuser M. Descartes en plusieurs endroits, de n'avoir pas des idées nettes & distinctes?

Dans une jouissance cruelle, il appose alors à Parent le signe de la dernière déchéance, le faisant passer pour hérétique, ce qui est un comble lorsqu'on sait que Saurin est un ancien calviniste⁴⁰⁴ :

Au reste, on auroit passé volontiers ce discours à M. Parent, s'il avoit esté permis de ne le regarder que comme un discours qui ne s'entend point: il est bon d'avertir qu'il y a plus que cela, & dans (p. 251) celui qu'on a rapporté, & dans quelques autres; & qu'en continuant de parler ainsi, il pourroit se mettre fort mal avec les Theologiens. On est persuadé sur cet Auteur n'a pas de mauvaises intentions, & il faut esperer qu'il profitera de cet avis, & qu'à l'avenir il aura la prudence de se renfermer dans des matieres de pure Physique, & de pure Mathematique, dans lesquelles on peut errer sans consequence.

Conclusion:

Il semble qu'il devrait éviter de prendre ces morceaux de mathematique qui regardent des matieres traitées depuis avec soin, & avec étenduë dans de grands ouvrages connus de tout le monde. Son dessein seroit plus utile, & plus agreable au public, s'il choissoit les Memoires qui peuvent nous apprendre quelque chose de nouveau, ou qu'on ne trouve pas ailleurs.

précédent, de la liberté qu'il a demandée au public de faire ses remarques sur les memoires qui ne sont pas de luy, afin qu'on ne luy impute pas de donner les pieces pour meilleures qu'elles ne sont, & de n'entendre pas le sujet dont il s'agit [l'auteur reprend les propres termes de Parent]". Il argumente ainsi que le calcul différentiel est inutile entre les mains de Parent, puisque La Hire arrive à faire aussi bien que lui avec le style ancien. Comme si cela ne suffisait pas, il ajoute (pp. 249-250) : "Encore un mot sur l'Extrait de M. Tschirnaus. On nous y apprend que ce Sçavant Geometre a donné à l'Academie Royale des Sciences une methode generale pour déterminer les Tangentes des lignes courbes geometriques, & mechaniques. Ce qui joint à ses autres decouvertes, ne peut que luy acquerir une gloire immortelle. Nous sommes fort éloignez de vouloir diminuer le mérite de M. Tschirnaus, ni le prix de sa méthode: mais si c'est la même qu'il a donnée dans les Actes de Lipsic 1682. pag. 391., M. Parent n'est pas tout à fait exact. Cette méthode ne s'étend pas generalement aux courbe geometriques, & mechaniques; mais aux courbes geometriques, & à certaines courbes mechaniques seulement, c'est à dire, à celles qui ayant le même axe que les geometriques, ont aussi la même soûtangente."

⁴⁰⁴ ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, MARS: 1710, H, 110

Pourquoi une telle animosité ? Le tort de Parent, semble t-il, a été d'oser critiquer Descartes, ce que Saurin, défendant la théorie des tourbillons jusqu'à sa mort, ne pouvait accepter.

Ces longs extraits sont nécessaires pour comprendre ce que Parent lui-même a dû subir en retour de ses propres critiques. Ils montrent que l'injure était aussi l'apanage des détracteurs de Parent, et ceux-là sont au moins aussi coupables que lui. La belle civilité des savants tant mise en avant par Fontenelle dans d'autres éloges n'est qu'une farce destinée à donner aux savants la dignité qui sied à des hommes cherchant à acquérir une position sociale d'envergure. Le désintéressement, l'affabilité, le caractère soit disant rêveur des scientifiques, et leur prétendue propension à ne s'occuper que de méditations scientifiques, sert directement ce but, laissant à penser qu'ils sauront rester à leur place de nouveaux notables et n'empièteront pas sur les sphères du pouvoir.⁴⁰⁵

2.C.e.iii FAUT-IL BRULER PARENT ?

Alors faut-il brûler Parent ? Nous ne le croyons pas. Les analyses que nous avons faites de ses mémoires de 1704 et 1714, si elles révèlent son style embarrassé et son manque de pédagogie, montrent surtout des idées tout à fait neuves bien que marquées par des schémas de pensées typiques de son époque. Scientifiquement, Parent vaut beaucoup mieux que ce que Varignon ou Saurin, s'il est l'auteur du compte-rendu de 1703, veulent bien laisser entendre. Il semble de surcroît que l'incompréhension soit amplifiée par le fait que Parent ne vit pas dans le même "régime de vérité", si l'on peut dire, qu'un Varignon par exemple, puisqu'il reproche à ce dernier le manque d'utilité de ses objets de recherche.

En outre, il faut remarquer que Parent n'a jamais été exclu de l'Académie, ce qui montre que Fontenelle, Bignon et d'autres (dont au moins Sauveur) étaient parfaitement convaincus de l'utilité de Parent pour l'Académie. Quand on sait que Jean Le Febvre, le maître d'Amontons, a été exclu en 1702 pour avoir simplement attaqué le fils La Hire dans

⁴⁰⁵ On le voit affirmer quelques temps plus tard dans une célèbre lettre de Réaumur (*Réflexions sur l'utilité dont l'Académie des Sciences pourroit être au Royaume, si le Royaume lui donnoit les secours dont elle a besoin*) citée par Maindron et datée par lui entre 1716 et 1727 : "Y a-t-il de la justice que celui qui s'applique à des recherches importantes au bien de l'Etat, ne puisse espérer de parvenir à quelque fortune ? L'homme de guerre, le magistrat, le marchand peuvent se promettre des récompenses de leurs travaux, le sçavant seul n'a rien à espérer." (MAINDRON, ERNEST, *L'Académie des sciences : histoire de l'Académie, fondation de l'Institut national, Bonaparte membre de l'Institut national Paris, F. Alcan, 1888: 107*) Réaumur propose de donner à l'Académie des charges d'inspection des arts mécaniques, afin d'améliorer la production des manufactures, qualitativement et quantitativement (108).

une préface de la Connaissance des Temps, et encore avec raison, on est saisi par la différence de traitement.⁴⁰⁶

Un autre visage de Parent le rend moins détestable : c'est celui qu'il prend lorsqu'il entreprend ses recherches sur l'origine de la beauté physique. Il y fait preuve d'un relativisme culturel semble-t-il rare à l'époque. Se révélant de goût baroque, Parent argumente (et sans le moindre calcul cette fois-ci) que la beauté physique a rapport avec la courbe et la rondeur des angles plutôt qu'avec la droite et les lignes brisés. Il prend alors nettement position contre l'idée commune de trouver "dégoutants" les indigènes et plus généralement tous les non-européens. En effet, dit-il, cette impression ne provient que de notre manque d'habitude à les voir. Cette impression surmontée, on verra autant de beauté dans ces peuples que dans le notre, eu égard à la présence plus ou moins nombreuse et harmonieuse des courbes dans leurs corps. Parent, et c'est le point positif de sa personnalité critique, refuse l'évidence⁴⁰⁷. C'est ainsi qu'il réfute également l'opinion de Descartes selon laquelle les bêtes n'auraient pas de raison⁴⁰⁸.

Antoine Parent est un homme passionné. Un homme qui tente de compenser ses colères irrationnelles par un contrôle sévère de lui-même et de la réalité, sous la forme d'une piété rigide et d'une pratique du calcul totalisant. Un homme à l'égo sans doute démesuré, mu par une volonté désespérée de créer son propre système, en dehors de toute influence, notamment cartésienne, érigeant la critique au rang de l'exigence.⁴⁰⁹ Un homme aux intuitions

⁴⁰⁶ *Le Febvre accuse La Hire fils de plagiat et le qualifie de "petit novice". Une querelle commencée en 1687 avec La Hire père à propos des Tables astronomiques de ce dernier (Tabulae astronomicae, Ludovici Magni jussu et munificentia exaratae), que donc Le Febvre accuse d'être un plagiat de ses propres tables. Cf. à ce propos TISSOT, AMEEDÉ, Étude biographique sur Jean Le Fèvre, ouvrier tisserand, astronome, membre de l'Académie des Sciences, Lisieux, J.-B. Dumoulin, 1872: chap. XI Ceci fera dire à Lalande plus tard que l'on perdit alors un astronome utile pour un autre qui ne l'était point.*

⁴⁰⁷ Evidence est à prendre ici au sens commun, et non pas cartésien.

⁴⁰⁸ "La preuve par laquelle il prétend ôter la raison aux bêtes, sçavoir de ce qu'elles ne parlent point, est infirme" (PARENT, *Essais et recherches*: 1, 266)

⁴⁰⁹ Il faut voir avec quelle énergie Parent réfute point après point tout ce qu'il croit être inexact chez Descartes. Ses critiques publiées dans le tome 1 des *Essais et Recherches* de 1713 composent plus de 500 pages ! Le journal des sçavans de 1713 en fait un compte rendu beaucoup plus favorable que celui de 1703, d'où nous tirons l'extrait suivant (p. 518-520). Vertige de la liste, dirait Umberto Eco :

"L'auteur, qui tient le parti des atômes, n'est pas fort d'accord avec Descartes sur la physique generale. Il prétend par exemple, que le mouvement ne sçauroit produire ni la dureté, ni les figures des corps, ni par consequent toutes les varietez constantes que l'on voit dans le monde. Il soutient contre Descartes, que la figure du vuide parfait, ou du néant, n'appartient qu'aux corps qui environnent le vuide, & nullement au vuide même, & il refute toutes les loix du mouvement établies par ce philosophe. M. Parent ne convient pas davantage avec luy sur la formation des élemens, ni sur la maniere d'expliquer les apparences des cometes, la pesanteur, l'arrangement des parties de la terre, les courants, les fontaines, la nature & les effets du feu, de l'air, de l'eau, des feux souëterrains, du sel marin, du nitre, du verre, de l'aimant, de la sympathie, &c. L'auteur nie que ce que Descartes pose pour premier principe de nos connoissances, le soit effectivement, & il refute la maniere

finies, capable de voir les solutions à 100 lieues de distance, mais singulièrement malhabile à passer de la pensée pure à l'exposition écrite et structurée de ses raisonnements.

Ceci explique en partie la faible diffusion initiale de ses résultats sur l'effet des machines hydrauliques, et le fait qu'il fallut attendre Pitot pour les voir renouveler.

2.D. CONCLUSION

Pour nous résumer, pourquoi peut-on considérer la *puissance continue* d'Amontons, et l'*effet général* de Parent comme deux antécédents du concept de travail mécanique ?

Pour le comprendre, il faut rappeler ce qu'est le travail mécanique pour Coriolis, Navier, Poncelet notamment. Premièrement, c'est la mesure unique de la production, qui exprime la commensurabilité de tous les effets mécaniques productifs. Deuxièmement, c'est une dépense de potentialité : l'effet, le travail consomme la force, et est commensurable avec elle. Troisièmement, il se transmet de l'entrée à la sortie de la machine d'après le principe dit (par Coriolis) de la transmission du travail.

Or précisément, chez Amontons, la *puissance continue* exprime premièrement la mesure unique de l'activité des hommes, des chevaux et des machines. Deuxièmement, toute sa pensée est incluse dans une notion de dépense de force: la force se consume dans la réalisation de l'effet. Toute la force de l'ouvrier est utilisée à ce but, c'est-à-dire vaincre les frottements, et cesse dès que la force est épuisée. Troisièmement, elle est une caractéristique

dont ce philosophe explique la circulation du sang par le coeur, la propagation, l'action, & les refractions de la lumière; les couleurs, la nature de nos idées, la géométrie naturelle pour connaître les distances, nos jugemens sur les apparences des objets, & le mouvement de l'iris de l'oeil, qui (selon M. Parent) est involontaire.

Il soutient que Descartes n'a jamais connu les axes des lentilles de verre, ni la disposition des pores des corps transparens, ni le moyen de perfectionner les telescopes & les microscopes, ni la nature de la glace, des vents, de l'anneau ou almicantarah blanc, de la grêle, du tonnerre, des étoiles tombantes, des chevrons de feu, des couronnes qu'on voit autour du soleil & de la lune, des parhélies, des parasélenes, des rayons apparens, &c. Il a soin de substituer de nouvelles explications de tous ces phénomènes, à la plupart de celles qu'il croit mal fondées, sur quoi il avoue qu'il n'a pas tiré un médiocre secours des expériences qui ont été faites dans toute l'Europe depuis Descartes.

Notre auteur ne le traite guères plus favorablement par rapport à la théorie de la Musique, & en particulier sur ce qui concerne les temps ou mouvemens, la causes des accords, leur nature, leur generation, leurs arrangemens. Il paroist fort scandalisé que Descartes ait marqué peu de consideration pour la Quarte, qu'il ait voulu rendre les bêtes insensibles à l'harmonie, & qu'il ait donné la preference à la gamme des nuances. M. Parent ne fait pas plus de grace à ce philosophe sur ce qu'il dit des transpositions, sur sa manière de composer par les nombres, sur ce qu'il admet l'alteration d'un Comma, sur les regles qu'il prescrit pour la composition, sur le progrès qu'il donne aux différentes parties de la musique, ni sur ce qu'il avance touchant les modes par rapport à nos passions. Il est vrai qu'on pourroit dire en faveur de Descartes, que toutes ces choses étoient encore assez imparfaites de son temps, ainsi que M. Parent le reconnoit luy-même."

de l'agent producteur en action, mais sans que la distinction entrée/sortie ait ici une pertinence.

Chez Parent, l'effet général vise premièrement à la même unité entre effet des fluides et travail des animaux, par l'intermédiaire de la machine. Deuxièmement, l'effet général est issu d'une potentialité, l'effet naturel. Troisièmement, en 1714, il parvient à l'expression d'un rendement.

Ce sont les mêmes caractéristiques et les mêmes démarches qui se donnent à voir, nonobstant les différences théoriques majeures qui les séparent de la pensée des ingénieurs du 19^e siècle, et malgré aussi la particularité de chacune des deux approches d'Amontons et de Parent.

Ce que nous voyons alors, c'est que le concept de *travail* en son acception socio-économique, est à la base même de la définition des concepts de *travail mécanique*, de *puissance continue* et d'*effet général*, dont ils ne sont que la traduction dans la sphère physico-mathématique. Parler de *travail* à propos de ces concepts n'est pas une métaphore en 1829, et on voit que c'est bien de cela dont il s'agit déjà en 1699. Ils sont constitués pour cela, pour mesurer le travail des hommes, et pour mesurer l'effet des machines en référence à ce dernier, pas autre chose.⁴¹⁰

C'est au contact des machines, des hommes, des animaux, mais en tant que forces productives, que ce qui n'était auparavant que *quantité de mouvement* ou *force à deux dimensions* ou *force*, vint se teinter de la poussière grasseuse et suante de la production et de ce fait devint travail. Autrement dit, la raison d'être du concept de travail mécanique tient à ce qu'il est une mesure du travail des machines au sens large, c'est-à-dire de toute entité pouvant être réduite au modèle machinique (donc mécanique et productique). Ce qui inclut les animaux. Ce qui inclut l'homme. C'est par ce biais qu'il est créé. C'est par ce biais qu'il obtient sa légitimité.

Une fois ceci établi, que doit-on retenir de ces démarches ?

2.D.a. DE L'EQUIVALENCE A LA TRANSMISSION ET LA TRANSFORMATION

Le premier point important, est que ces antécédents se fondent dans une rupture avec la pensée de l'équilibre. On ne soulignera jamais assez ce point. D'une équivalence entre les deux termes d'une application, autrement dit de la commensurabilité de deux types d'effets

⁴¹⁰ Nous expliquerons plus en longueur au chapitre 5 la notion de profit qui se profile derrière ce calcul de la production, et comment finalement cette mesure et concept est encastrée dans la société contemporaine.

aux deux extrémités d'un levier ou d'une balance, n'exprimant au mieux que des dépendances géométriques ou une force inerte, on passe à présent à une pensée de la transmission du travail et de la transformation de la force. Voilà bien le point remarquable. Amontons et Parent font voler l'équilibre en éclat pour confier à la machine en mouvement le support de leur pensée d'un effet productif.

Dès lors, on peut penser comparer la force dépensée par l'ouvrier à la multitude des ouvrages qu'elle peut produire, et commencer à différencier une entrée et une sortie pour amener à un calcul de rendement.

Dans ce cadre, nos deux académiciens donnent à voir deux versions de la force-pour-mouvoir, marquant la différence avec les forces mouvantes dont il était question jusque là. Les forces mouvantes considérées par leurs collègues mécaniciens étaient toujours des forces-pour-soutenir. Ainsi le mouvement du fluide exerçait-il une pression sur les pales d'un moulin à eau, mais dont on faisait le calcul à l'équilibre. La force mouvante peut désormais devenir force-pour-mouvoir.

Toute la pensée d'Amontons en cette matière peut se résumer par la symbolique de l'introduction du peson en lieu et place de la balance dans les mesures de l'effet. Par l'intermédiaire de la dilatation du ressort et du déplacement sur l'échelle graduée du curseur associé, ce n'est plus une force statique que l'on mesure, mais la force d'un agent mouvant sur une machine en mouvement. Les frottements jouent ici un rôle prépondérant.

La rhétorique de la force-pour-mouvoir de Parent est différente. Elle donne à voir que le mouvement de la machine crée un effet retour sur la force mouvante elle-même. Il est impossible dans l'expression PV de séparer la force de la vitesse, interdépendants.

2.D.b. LE MODELE ORGANIQUE DE LA PRODUCTION DE FORCE

Le deuxième point concerne le rôle de la référence organique dans cette histoire du travail. Amontons met ainsi en place une mesure dont la référence est l'expérience concomitante du travail et de la fatigue de l'homme. Parent rattache *in fine* son *effet naturel* à l'effet des animaux. Dans les deux cas, cela conduit à introduire une notion de potentialité dans la production de l'effet. Nous avons exploré précédemment le rôle joué par la problématique de la substitution.

L'effet de la machine chez Amontons et ses contemporains, est toujours relié à l'effet des hommes, dans une problématique de substitution dont l'acception est conjointement et indissociablement mécanique et économique. C'est cette problématique qui participe de la

création du besoin d'un effet unifié permettant la mesure de la machine en termes d'humains ou de chevaux remplacés. Et c'est grâce à la modélisation de l'homme et de l'animal comme machine qui triomphe au second 17^e siècle que les deux entités du corps et de la machine vont communier pour revendiquer une identité du fonctionnement et des effets. Autrement dit, on en arrive à une mesure unifiée de l'effet, 1/ parce que l'on peut substituer les hommes aux machines car ils produisent les mêmes effets, et 2/ parce que l'homme peut être décrit comme une machine en fonctionnement, au moins en ce qui concerne ses articulations et ses muscles. Cette conception de l'effet porte en elle-même le modèle organique de la production de la force sous un schème de dépense, et sera au moins jusqu'à Coriolis teintée de cette origine anthropomorphique.

2.D.c. VERS UNE EFFECTIVITE DE L'APPROPRIATION DES FORCES NATURELLES DANS LA PRODUCTION DE L'EFFET

Le troisième point concerne l'appropriation des forces naturelles dans la production de l'effet. Ce qui n'était jusque là, avec Descartes par exemple (*maître et possesseur de la nature*)⁴¹¹ ou Bacon (*étendre l'empire et la puissance du genre humain sur l'immensité des choses*),⁴¹² qu'une aspiration philosophique dont la réalisation peinait à advenir, commence à voir ses conditions de possibilité apparaître à l'aube du 18^e siècle : une science des machines fondée sur des indicateurs permettant la maximisation de la production par utilisation optimale des forces naturelles.

2.D.d. LES LOIS NATURELLES DU SYSTEME-MACHINE

Le quatrième point, lié au précédent, c'est l'émergence d'une science des lois naturelles de la machine, notamment avec Parent. En effet, il existe une différence de nature

⁴¹¹ « Au lieu de cette philosophie spéculative qu'on enseigne dans les écoles, on en peut trouver une pratique, par laquelle, connaissant la force et les actions du feu, de l'air, des astres, des cieux et de tous les autres corps qui nous environnent aussi distinctement que nous connaissons les divers métiers de nos artisans, nous les pourrions employer en même façon à tous les usages auxquels ils sont propres et ainsi nous rendre comme maîtres et possesseurs de la nature. » (*Discours de la méthode*, VI). Descartes n'entend cependant pas nier la nature ou la dominer au sens propre, mais plutôt la gérer dans le sens qu'elle serve au bien humain.

⁴¹² Bacon énonçant dans le *Novum Organum* : « S'il se trouve un mortel qui n'ait d'autre ambition que celle d'étendre l'empire et la puissance du genre humain sur l'immensité des choses, cette ambition, on conviendra qu'elle est plus pure, plus noble et plus auguste que toutes les autres. Or, l'empire de l'homme n'a d'autre base que les arts et la science, car on ne commande la nature qu'en lui obéissant. [...] La Science et la puissance humaine se correspondent dans tous les points et vont au même but ; car c'est l'ignorance où nous sommes de la cause qui nous prive de l'effet ; car on ne peut vaincre la nature qu'en lui obéissant ; et ce qui était principe, effet ou cause dans la théorie, devient règle, but ou moyen dans la pratique. »

entre, pour le dire vite, les machines simples, ou les composées réduites à des assemblages de machines simples, et les machines en mouvement examinées à partir de Parent. Auparavant, différencier le poids mu et sa vitesse, ou la puissance qui meut et sa vitesse, est tout à fait possible. Ce n'est qu'une fois l'une des extrémités du levier en équilibre mue d'une certaine vitesse, que la dépendance géométrique impose la vitesse à l'autre extrémité. Tout est simple, proportionnel, géométrique. Dans les machines de Parent au contraire, la vitesse de ce qui est mu influe selon des lois complexes sur la force de ce qui meut. P et V sont interdépendants. Parent donne à voir une monstruosité : une machine dont le réglage ne peut se faire par fixation séparées des paramètres. Parent oblige à penser la machine dans son ensemble, comme un système complexe dont chaque organe influe sur tous les autres. La connaissance des lois naturelles d'un tel système permet l'optimisation, et donc la maximisation, du produit. Nous verrons que Bélidor poussera encore plus loin la chose, en incorporant à sa conceptualisation la démarche d'Amontons sur les frottements

Alors, il ne s'agit plus seulement de connaître. L'homme appliquant ses ambitions à la matière réelle crée entre les techniques et la science un nouvel espace, où vient se loger la technologie. C'est une science visant à tirer de la nature toute sa potentialité, qui débute alors. Découvrir la naturalité des machines, des hommes, des animaux, découvrir les lois naturelles à la base de leur fonctionnement, leur intrication, pour en chercher, prévoir, et obtenir, leur optimum. Créer des dispositifs respectant ces lois et libérer la matière des obstacles freinant sa potentialité. Le maximum sera ainsi déchu (ou rénové) remplacé par l'optimum défini comme le point de plus haut rendement situé entre deux extrémités. Au cœur de cette science du gouvernement de la nature : le travail, où vient s'articuler science rationnelle et science des processus laborieux.⁴¹³

2.D.e. DETERMINER PAR UN CALCUL DE LA CONDUITE LA PLUS EFFICACE : DE LA MAXIMISATION A L'OPTIMISATION

Ceci nous mène au cinquième point, qui est le renouvellement de la rhétorique de la maximisation, qui courait déjà à propos des machines avant l'entre-deux siècles, chez les ingénieurs notamment, mais dont on ne savait sur quoi la fonder. L'utilité, le côté pratique, la

⁴¹³ *Gouvernement n'est pas une simple métaphore. Au 18^e siècle, comme on le verra au chapitre 5, se met en place un art de gouverner où l'économie politique a toute sa place, et envisageant la société non plus comme une somme de sujets de droits, mais comme une population, un ensemble de processus qu'il faut connaître et gérer comme les phénomènes naturels. La démarche étant alors similaire, on peut dire que les processus des éléments naturels en viennent en quelque sorte à être gouvernés, comme la population.*

topologie, le produit, prenaient des sens différents, locaux, et entraient directement dans un “calcul” qualitatif des avantages. L’expérience des hommes les menait à trouver des compromis dans la recherche d’une action efficace pour un coût moindre. Cette multitude qualitative vient se réduire dans l’unicité quantitative du calcul du travail ou de la puissance. Ce critère à l’heure de Parent et Amontons, doit encore se généraliser, et il faudra encore quelque temps pour qu’il vienne se positionner comme le prisme unique du jugement de la machine. Mais il offre déjà la possibilité d’une maximisation par sa seule considération. Parent est ainsi le premier à formaliser ce concept d’optimum, c’est-à-dire donner le plus possible, avec le moins possible, en donnant un critère unique sur lequel juger la machine.

Que deviennent ces antécédents, et leurs logiques propres, dans le premier dix-huitième siècle ? C’est le sujet du chapitre suivant.

Chapitre 3 LA FORTUNE DES NOTIONS DE TRAVAIL MECANIQUE. REGARDS CROISES SUR LE CALCUL DE L'EFFET (1725-1743).

3.A. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, il s'agit de voir comment les notions développées à la fin du Grand Siècle ont été reprises, ou évoluent, après Antoine Parent et avant les Encyclopédistes. Daniel Bernoulli se situe dans cette période, mais au vu de son importance, de l'unité de sa pensée, et des longs développements que cette dernière nécessite, nous préférons lui consacrer un chapitre entier, le quatrième. Présentement, nous nous attacherons à explorer dans un premier temps les textes qu'Henri Pitot (1695-1771) présente à l'Académie Royale des Sciences entre 1725 et 1737, en nous interrogeant sur la question de la nouveauté de ses développements, et même de la pertinence de parler d'un concept de travail présent en ces textes. Nous sortirons ensuite des textes de l'Académie, pour questionner Bélidor (1697 ou 98- 1762), correspondant de Pitot, dans son *Architecture Hydraulique*. Nous irons également du côté de Desaguliers (1683-1744), et reviendrons sur la figure de D'Alembert pour voir comment ce dernier manque la notion de travail dans la préface de son *Traité de Dynamique*, et en quoi, par contraste, sa pensée nous permet de mieux saisir ce qui fonde la création et l'utilisation du concept de travail mécanique ou de ses antécédents.

3.B. HENRI PITOT : ECLAIRCISSEMENT OU RETOUR EN ARRIERE ? (1725-1737)

3.B.a. BREVE PRESENTATION DU PERSONNAGE

Quelques mots d'abord sur Pitot, afin de le resituer dans le contexte académique de l'époque et de voir comment se placent les travaux présentés ici vis à vis du reste de son œuvre.⁴¹⁴

⁴¹⁴ Les informations suivantes sont tirées de : GRANDJEAN DE FOUCHY, JEAN-PAUL, "Eloge de M. Pitot", HMARS, 1771, H, 143-157.

Henri Pitot (1695-1771), languedocien de son état, réfractaire aux études, braqué par l'attitude d'un père tentant de l'y contraindre, prit des chemins de traverses pour acquérir la science mathématique. D'abord autodidacte en ce domaine, il se forme avec des traités élémentaires et ceux de Deschales, parvenant ainsi seul jusqu'aux altitudes du calcul différentiel et intégral, et aux calculs astronomiques. Sa passion le mène, selon Grandjean de Fouchy, jusqu'à transformer une tour de la maison familiale en observatoire peuplé d'astrolabes et de cartes célestes, jugés diaboliques par ses sœurs. Persuadées que les œuvres de Dieu, et a fortiori les éclipses, ne se pouvaient prévoir, elles assimilaient donc leur frère à une sorte de faux prophète⁴¹⁵, et Béliodor fut victime de leur piété obscurantiste lorsqu'elles brisèrent un jour tous ses instruments. Toutefois, son père, finalement convaincu de ses talents après avoir d'abord cru enfanter un "inutile" et un "ignorant", l'envoie à Paris en 1718 chez une parente qui le présente à Réaumur, dont la vision très utilitaire de la science est connue. Sous la direction du grand savant, Pitot complète sa formation par une étude très solide d'auteurs tels que Descartes, Leibniz, Newton, les Bernoulli, le marquis de l'Hôpital, et d'autres, ainsi que des mémoires de l'Académie. Il devient ensuite son assistant en son laboratoire de chimie en 1723, ce qui lui permet d'acquérir énormément de connaissances en cette matière. En 1724, il est nommé adjoint géomètre de l'Académie, et accompagne Réaumur dans l'inspection des forges de Cosne. Il a 29 ans.

C'est seulement à partir de cette période, du fait de son poste, qu'il commence à se pencher sur la mécanique, *"non seulement sur la partie théorique & abstraite de cette Science, mais sur la pénible application de ses principes aux machines où le physique qui s'y mêle entraîne à chaque pas des exceptions à presque toutes les règles, & demande des efforts de génie & des attentions continuelles pour n'être pas trompé dans l'exécution."* Son mémoire de 1725 sur les machines mues par l'eau est le premier mémoire qu'il donne dans ce domaine.

Suite à des travaux sur la force des cintres d'une charpente, servant à soutenir les voûtes, il est élu associé mécanicien à l'unanimité des voix. Il poursuit ensuite ses travaux, notamment en hydraulique, donnant en 1730 un mémoire sur le mouvement des eaux, et d'autres sur les machines mues par l'eau ainsi que sur le mouvement des vaisseaux. En 1732,

⁴¹⁵ Selon la Bible (Deutéronome 18 :9-12) :⁹Lorsque vous aurez pénétré dans le pays que le Seigneur votre Dieu vous accordera, vous ne vous mettrez pas à imiter les pratiques abominables de ses habitants actuels. ¹⁰Qu'on ne trouve parmi vous personne qui offre son fils ou sa fille en sacrifice, ni personne qui s'adonne à la magie ou à la divination, qui observe les présages ou se livre à la sorcellerie, ¹¹qui jette des sorts ou qui interroge d'une manière ou d'une autre les esprits des morts. ¹²Le Seigneur votre Dieu a en horreur ceux qui agissent ainsi, et c'est pourquoi il va déposséder les habitants de ce pays lorsque vous arriverez." (La bible en français courant", ALLIANCE BIBLIQUE UNIVERSELLE (éd.), Ed. interconfessionnelle, 1997)

il invente son fameux tube, permettant la détermination de la vitesse d'un bateau : simplement constitué d'un vaisseau de verre recourbé, dont l'embouchure est une espèce d'entonnoir, il suffit de le disposer colinéairement au courant, pour observer que l'eau s'élève dans l'entonnoir, au-dessus du niveau du reste de l'eau ; il ne s'agit alors plus que de savoir graduer l'instrument de manière à marquer les différentes vitesses du navire, suivant la théorie à disposition. En 1733 il revient à des questions d'astronomie et de figure de la terre. Puis, après avoir gagné le galon de pensionnaire géomètre, la même année, il retourne à ses travaux mécaniques et hydrauliques, et il ne travaille plus que sur cette dernière matière. 1735 et 1739 voient l'avènement de sa théorie des pompes, réalisant ainsi le projet de Parent dont le traité ne fut jamais publié; 1736, la vis d'Archimède; 1737 un mémoire sur les principes de l'effet des machines hydrauliques ; 1739, la jonction des rivières et sa conséquence sur le mouvement des eaux. Dans le même temps, Pitot se voit constamment nommé commissaire à l'évaluation des mémoires et machines présentées à l'Académie.

Au début des années 40, il est chargé de la vérification d'un projet proposé pour le dessèchement des marais du bas Languedoc, ce pour quoi il voyage alors dans sa région d'origine, pour finalement s'y installer définitivement en acceptant la direction des travaux publics liés au canal du Languedoc. La suite de ses ouvrages publics dans cette région ne nous intéresse pas ici.

Ami du maréchal de Saxe, confirmé noble en 1748, et marié en 1738 avec une représentante d'une des plus anciennes maisons de la basse Navarre, Pitot sait se faire aimer de tous.

Concernant ses dispositions scientifiques, il avait un don affirmé de synthèse et d'éclaircissement des matières les plus ardues. Résumant en quelques formules les complications de ses prédécesseurs, son talent était de rendre toute chose extrêmement simple, clair, par une prise de recul, une recherche du général, et une pédagogie rare. Il fallait un homme pareillement talentueux, versé autant dans les mathématiques que dans la pratique, pour donner à l'écoeuvrant magma de Parent la transparence du cristal.

3.B.b. LES MEMOIRES SUR LES ROUES HYDRAULIQUES

Pendant plus de dix ans, après le dernier mémoire de Parent de 1714, on ne trouve pas dans les publications de l'Académie de texte significatif mettant en avant un concept de travail mécanique. Outre cela, les textes de Parent, compliqués plus que complexes, brouillon jusqu'à la caricature, œuvres d'un homme presque unanimement jugé détestable dans ce conservatoire des rancunes recuites qu'est l'Académie, sont teintés d'un caractère monstrueux

brouillant leur originalité, et empêchant leur diffusion ou une quelconque réédition après la mort de l'auteur en 1716. Parent a été finalement peu lu et peu compris, pour ce qui est des mémoires précédemment relatés. Celui de 1714 ne fera d'ailleurs l'objet que d'un sommaire résumé par Fontenelle dans la partie Histoire des HMARS, et ne sera jamais publié par l'Académie.

Cependant, ce milieu des années 20 voit la nécessité de renouveler les résultats du savant vitupérant, du fait d'un environnement de plus en plus technologique, ou du moins technique, de l'aveu même de Fontenelle :

Comme les mathématiques, & en general les observations & les recherches devenuës plus communes dans ce siecle, font naître beaucoup de projets de Machines, & sur-tout de Machines telles que celles qui sont mues par l'eau, & qui par leur grand usage seroient utiles aux Inventeurs, M. Pitot a crû qu'il seroit à propos de fixer par des Regles generales tout ce qu'on en peut attendre, & d'empêcher par là que les Auteurs ou ne se laissent seduire par l'amour de leur invention, ou n'entraînent les autres dans leur erreur. Toutes les promesses trop magnifiques vont disparaître. Feu M. Parent avoit déjà eû la même idée, mais executée differemment.⁴¹⁶

Il faut donc entendre deux choses : 1° les machines hydrauliques sont de plus en plus nombreuses; 2° on demande de plus en plus à l'Académie, dans son rôle d'expert, de juger de l'efficacité de celles-ci. C'est l'une des motivations de Pitot, fortement impliqué dans l'examen des machines. Conséquemment, la nécessité de trouver des critères pertinents de comparaison se fait plus que jamais sentir, afin que l'Académie puisse émettre, conformément à son rôle, un avis mécanique et économique. Les mêmes motivations qu'à l'entre deux siècles sont donc présentes, quoique dans un environnement en mutation où la machine commence à prendre une place beaucoup plus importante qu'autrefois.

Parent est alors réhabilité par Pitot, qui réitère ses calculs, mais premièrement en les rendant considérablement plus clairs, et deuxièmement en leur donnant plus de généralité, ambitionnant de calculer toutes les machines hydrauliques, y compris les moulins mus par des chutes d'eau. Au cours de cette réforme, Pitot est amené à utiliser la méthode de La Hire de 1702, ce qu'il assume parfaitement, au contraire de Parent continuellement enclin à penser que personne n'a jamais rien compris avant lui. Ceci montre au passage toute la modernité et la force heuristique de la méthode de La Hire, que l'on a un peu trop rapidement catalogué comme mathématicien de "vieux style" (Varignon).

⁴¹⁶ HMARS: 1725, H, 80.

3.B.c. LE MEMOIRE DE 1725 : PERTE DE LA RICHE IMPURETE DES METHODES DE PARENT

3.B.c.i PRINCIPES DE CALCULS ET PRINCIPAUX RESULTATS

Voyons quelques détails à présent, pour étayer ce que nous disons. Cependant, on ne trouvera pas ici de détails de calcul aussi poussés que dans le premier chapitre, car si l'on a compris les procédures de Parent en 1704, 1714, et La Hire en 1702, il est aussi fastidieux qu'inutile d'y revenir ici.

En 1725 donc, Pitot expose sa "*Nouvelle méthode pour connoître & déterminer l'effort de toutes sortes de machines muës par un courant, ou une chute d'eau*"⁴¹⁷, le premier travail mécanique (publié par l'Académie) de sa vie.

Il commence par trois hypothèses. Primo, la force de toutes les machines, quelles que soient leurs compositions, peut se réduire au levier simple. Par cette méthode, Pitot ambitionne de pouvoir juger de l'efficacité d'une machine par un examen général qui fait l'économie de la considération du mécanisme particulier. Néanmoins, il ne faut pas se laisser leurrer par cette comparaison au levier : il n'évoque pas de la sorte un retour à la statique. Au contraire ses calculs intègrent un élément dynamique, ainsi que nous allons le voir. Secundo, il néglige, tout comme Parent plus tôt, les frottements. On voit donc ainsi dès le départ que la méthode inspirée de Parent, et celle d'Amontons, basée sur les frottements même, ne se croiseront pas. Tertio, Pitot suppose que les surfaces sont orientées à 90 degrés par rapport à la direction du fluide, et si elles sont obliques on peut toujours, croit-il, les ramener au cas du choc perpendiculaire moyennant une multiplication par le carré des sinus des angles d'incidence. Une fois ces prérequis exposés, Pitot énonce la "*règle générale tirée de la loi fondamentale des mechaniques*" (p. 79), à savoir qu'

En toutes machines, le produit de la puissance motrice, ou (ce qui est le même aux machines muës par l'eau) de la force de l'impulsion de l'eau contre les aubes ou vannes, multiplié par la vitesse des mêmes vannes, est toujours égal au produit du poids mû par la Machine & de sa vitesse.⁴¹⁸

Pour désigner ce produit, Pitot emploie parfois le mot "*effet*", occasionnellement "*effort*", mais le plus souvent "*quantité de mouvement*".

Pour calculer la force du choc de l'eau sur les pales (ou "vannes") des moulins à eau, Pitot n'en passe pas exactement par la méthode de Mariotte d'une dépendance en v^2 , mais par la méthode de La Hire de 1702. Celle-ci vise à considérer, rappelons-le, que le choc de l'eau

⁴¹⁷ PITOT, "*Nouvelle méthode pour connoître & déterminer l'effort*".

⁴¹⁸ *Ibid.*: 79.

frappant une surface avec une certaine vitesse peut être réduit au poids d'un solide d'eau, de base égale à la surface choquée, et de hauteur telle qu'un réservoir rempli d'eau jusqu'à cette hauteur donnerait à un jet sortant du réservoir par en dessous la même vitesse.

Le poids de ce solide est celui que va utiliser Pitot comme premier terme de la quantité de mouvement en entrée de la machine. Le deuxième terme, celui de la vitesse, va être donné par la vitesse de la pale. Remarquons que pour déterminer la hauteur du solide d'eau, Pitot prend la vitesse relative de l'eau par rapport à la pale, et non la vitesse absolue de l'eau par rapport au fond de la rivière.

Ainsi Pitot obtient pour le poids du solide une expression dépendant de cette dernière vitesse, qu'il multiplie par la vitesse de la pale. Il dérive cette expression, égalise à zéro, et trouve naturellement deux solutions pour la valeur de la vitesse de la pale, l'une égale à la vitesse de l'eau, l'autre égale à 1/3 de cette dernière. Il élimine la première solution, considérant qu'alors le choc sur la pale serait nul, et la quantité de mouvement également : “[...] ainsi la vitesse que les aubes d'une rouë doivent prendre naturellement pour produire le plus grand effort possible, doit être toujours 1/3 de celle du courant de l'eau” (p.80)

Il ne lui reste plus qu'à injecter ce résultat dans l'expression de la quantité de mouvement en considérant maintenant que la force du choc de l'eau sur une surface varie en fonction du carré de la vitesse d'impact. L'eau ayant dans l'état parfait, conséquemment à ce qui vient d'être dit, une vitesse relative par rapport à la pale égale à 2/3 de la vitesse totale a du fluide, il s'ensuit que la force du choc sera égale à 4/9 a², et donc la quantité de mouvement de la pale, dont la vitesse est de 1/3 a, sera quant à elle égale à 4/27 a³.

On peut admirer le caractère beaucoup plus simple et lisible de la méthode par laquelle Pitot parvient à ce résultat. Son esprit synthétique voit tout l'avantage de la méthode lahirienne, mais cette démarche doit beaucoup à Parent lui même, qui en utilise l'esprit à défaut de la lettre, comme nous l'avons vu dans son mémoire de 1714. Plus qu'une nouvelle méthode, c'est un Parent digéré que Pitot nous donne à voir.

Pitot cependant ne s'en arrête pas là, bien sûr. Il exprime cette quantité de mouvement en fonction du solide d'eau défini par La Hire, qui dépend de l'aire des pales exposées au courant, en l'égalisant à la quantité de mouvement du poids mu. Il obtient alors

$$4/21 a^3 \cdot s^2 = P.v$$

Avec :

- a : la vitesse absolue du courant d'eau
- P : la valeur du poids mu
- v : la vitesse du poids mu

- s : surface frappée d'une aube

“L'égalité que nous venons de trouver est une formule générale par le moyen de laquelle on pourra connoître exactement la plus grande force, & *tout ce qu'on peut esperer* des machines propres à mouvoir de grands poids, &c. par le moyen du courant de l'eau”, commente Pitot.⁴¹⁹

Il s'adonne ensuite à quelques exemples d'utilisation de la formule, suivant le paramètre que l'on veut calculer.

Mais il y a plus. Pitot s'attaque au cours du même mémoire, et suivant les mêmes principes, aux machines remontant les bateaux. Il obtient immédiatement, sans calculs, une formule pour ces situations, à savoir :

$$4/21 a^3 \cdot s^2 = 9/7 \cdot (a+v)^2 \cdot r^2 \cdot v$$

Avec ici :

- v : vitesse absolue avec laquelle le bateau est tiré
- r² : surface du bateau présentée au courant

Ceci lui permet de juger de *ce qu'on peut attendre* de telles machines, et il en fait l'application à quelques unes en usage, aussi bien en ce qui concerne les vitesses attendues des bateaux, que les vitesses des aubes, dans les cas parfait et imparfait.

3^e étage de la fusée Pitot, après les moulins à eau frappés par en dessous et les machines à remonter les bateaux : le traitement des machines mues par une chute d'eau. Toujours avec pour base la méthode lahirienne, et toujours aussi facilement, il donne la formule pour toutes les machines mues par une chute d'eau :

$$32 b s^2 \cdot 1/3 \cdot \sqrt{(56 \cdot b)} = P \cdot v$$

Avec :

- b : hauteur de la chute d'eau
- P : Effort que la machine doit faire
- v : vitesse qu'elle doit donner à cet effort

Suivent divers exemples d'utilisation de la formule, dont le calcul d'une petite forge ou martinet, où la machine est utilisée pour lever et abaisser un marteau, le calcul de la force faisant mouvoir les pistons des pompes du pont Notre-Dame, et le calcul de la force que la roue de la pompe de la Samaritaine peut fournir pour mouvoir les pistons, deux machines que l'on retrouvera chez Bélidor (cf. *infra*).

Ensuite vient une deuxième partie que Pitot qualifie de nouvelles recherches, dans laquelle il se propose d'une part de donner encore plus d'étendue à ses formules, d'autre part de déduire de cela les formules pour les machines à vent, et enfin de démontrer que les

⁴¹⁹ *Ibid.*: 81 Nous soulignons.

machines fixes et les machines embarquées sur des bateaux donnent le même effet, une démonstration que Parent a cependant déjà faite en 1714, mais dans un immonde brouillamini. Cette seconde partie nous intéresse moins ici, mais elle est symptomatique de l'esprit de généralité qui anime Pitot, dont la motivation réside dans la synthèse. Tout résumer par une seule formule dont tout le reste ne soit que des cas particuliers. Il finit d'ailleurs par y arriver, et de manière relativement simple, en considérant l'expression générale de la vitesse de l'eau acquise de la hauteur h par $h^{\frac{n}{m}}$, avec m et n des coefficients dont il n'est pas précisé s'ils sont nécessairement naturels. La signification physique de ces coefficients est liée à l'hypothèse de dépendance en v^2 de la force du choc des fluides, dérivée de l'hypothèse (qualifiée par Pitot de galiléenne) concernant l'accélération de la vitesse acquise par les corps pesant en chute libre. Dans cette hypothèse, $n = 2$, $m = 1$. Mais s'il s'avérait qu'elle ne fût pas exacte, la formule universelle pourrait être facilement adaptée. Cette formule s'exprime ainsi :

$$\frac{h \cdot p \cdot s^2}{2h^{\frac{m}{n}}} \cdot \frac{m^{\frac{m}{n}} \cdot a^{\frac{m}{n}}}{(m+n)^{\frac{m}{n}}} \cdot \frac{n}{m+n} \cdot a = P \cdot v$$

Avec p la pesanteur spécifique de l'eau. Il suffit de remplacer les coefficients m et n par les valeurs susmentionnées, p par 72 livres, et h par 14 puisqu'un corps parcourt 14 pieds dans la première seconde de sa chute à partir d'une vitesse nulle, pour retrouver facilement la première de nos équations générales, celle pour les moulins à eau fixes élevant des poids.

Le paramètre P peut dans certains cas, par exemple les machines à remonter les bateaux, être remplacé par la force du choc de l'eau contre le bateau, en utilisant la surface r^2 présentée au courant. Par quoi on arrive à :

$$s^2 \cdot \frac{m^{\frac{m}{n}} \cdot a^{\frac{m}{n}}}{(m+n)^{\frac{m}{n}}} \cdot \frac{n}{m+n} \cdot a = r^2 \cdot (a+v)^{\frac{m}{n}} \cdot v$$

Pitot s'applique par la suite à appliquer ses formules aux machines mues par le vent, en intégrant l'obliquité des ailes, c'est à dire le rapport du choc oblique au choc direct, ainsi que la différence entre la force du choc de l'air et celle du choc de l'eau. Il utilise pour ce dernier point les travaux de Mariotte, affirmant que celle-ci est 576 fois plus grande que celle-là. Il renvoie à Mariotte et Parent pour le rapport du choc oblique au choc direct, en se contentant de le désigner pour l'heure par c/d , promettant un mémoire particulier pour ce sujet. Ceci lui donne la possibilité de faire le calcul de toutes les machines mues par le vent, notamment les chariots à vent et à voiles proposés à l'Académie précisément à la même

époque, mais aussi les bateaux à voile remontant le courant d'une rivière en cas de vent favorable.

Enfin, dernier point de son mémoire, Pitot parvient à montrer que le cas des machines mobiles, dont les aubes remontent le courant de l'eau, avec le fardeau ou le bateau qu'elles tirent par le moyen d'un point fixe, est le même que celui des machines fixes. Il vient en effet naturellement à l'esprit de croire que puisque la machine remonte le courant et les aubes étant ainsi frappées avec une vitesse augmentée de celle de la vitesse propre de la machine, celle-ci pourrait produire plus que ne le fait une machine fixe. Pitot en passe par un calcul des moments s'appliquant dans l'un et l'autre cas, pour trouver qu'ils seront identiques. Ceci implique qu'il considère la machine à l'équilibre, puisqu'il nous dit, considérant deux bras de levier ER et EI : *“si le produit de la force du choc par le bras de levier EI, est moindre que le produit de la force qu'il faut pour tirer le bateau par le bras de levier ER, la machine reculera ; si ces deux produits sont égaux, elle restera immobile ou en équilibre ; mais si le premier est plus grand que le second, la machine avancera”*. (p. 99) De cette égalité des moments appliqués dans les deux machines, il conclut que les quantités de mouvement, ou *“énergies”*, dit-il, *“communiquées”* à la machine seront les mêmes. Par *énergie*, il faut entendre la théorie de Jean Bernoulli sur les vitesses virtuelles, que celui-ci communique à Varignon par une lettre du 26 février 1715, rapportée dans son ouvrage de 1725⁴²⁰, en la datant erronément de 1717. Dans cette lettre, Jean Bernoulli met en lumière le principe des vitesses virtuelles dans une généralité qu'il ne semble pas qu'on ait atteinte avant lui.⁴²¹ Jean Bernoulli énonce que *“dans chaque équilibre il y a une égalité d'énergies des forces absolues, c'est à dire entre les produits des forces absolues par les vitesses virtuelles”*.⁴²² Une vitesse virtuelle est habituellement comprise comme la vitesse que prendrait un point faisant partie d'un système en équilibre, si celui-ci venait à être rompu, vitesse prise au premier instant, c'est à dire infinitésimalement. Mais pour Jean Bernoulli, d'une part la vitesse virtuelle est représentée par le déplacement infinitésimal que ferait le point, et d'autre part il entend par vitesse virtuelle, dans le cas d'un système subissant un petit mouvement linéaire perturbant

⁴²⁰ VARIGNON, PIERRE, BEAUFORT, D. & CAMUS, C.-É.-L. (éd.), *Nouvelle mécanique, ou Statique, dont le projet fut donné en M. DC. LXXXVII; ouvrage posthume de M. Varignon*, Paris, C. Jombert, 1725.

⁴²¹ Pour des considérations générales sur le principe des vitesses virtuelles, cf. CAPECCHI, DANILO, *Storia del principio dei lavori virtuali. La meccanica alternativa*, Benevento, Hevelius Edizioni, 2002, CAPECCHI, DANILO, *"On the Logical Status of the Virtual Work Law"*, *Meccanica*, n° 39, 2004, pp 159-173 Et bien sûr les classiques : DUGAS, *Histoire de la mécanique*, DUHEM, *Les origines de la statique. Pour quelques remarques sur le rapport entre le principe de Bernoulli-Varignon, et le principe de moindre action de Maupertuis*, cf. PANZA, MARCO, *"De la nature épargnante aux foces généreuses: le principe de moindre action entre mathématiques et métaphysique. Maupertuis et Euler, 1740-1751"*, *Revue d'Histoire des Sciences*, 48, n° 48-4, 1995, pp 435-520.

⁴²² Citation tirée de la lettre originale, non paginée. Cette lettre n'est pas encore publiée dans la correspondance entre J. Bernoulli et Varignon. Nous remercions Jeanne Peiffer de nous l'avoir fait parvenir.

son équilibre, la projection suivant la direction parallèle à la force. *Energie* s'entend alors comme le produit de la force absolue (par exemple le poids) par la projection de la vitesse virtuelle représentée par un déplacement virtuel, pris positivement ou négativement suivant leurs directions respectives. Nous n'entrerons pas dans un plus grand luxe de détail, car pour le cas qui nous occupe, une roue considérée sous le schème d'un levier, le cas est relativement simple. En effet, dans un levier, il est "*tres evident que par un petit mouvement autour de l'appui, tous les points du levier decrivent des petits arcs semblables qui marquent les vitesses virtuelles de ces memes points ; or ces petits arcs sont proportionnels à leurs rayons, c'est à dire aux distances au point de l'appuy; donc &c.*"⁴²³ Pitot avance alors l'idée que l'*énergie* puisse servir dans le cas des machines qui l'occupent, mais Pitot passe des vitesses virtuelles aux vitesses réelles. Il argumente qu'une machine mobile avançant vers un point fixe, ou une machine fixe exerçant une force destinée à mouvoir un poids (par exemple), agissent toutes deux par le biais d'un treuil dont l'axe est celui du moulin même. Dans la machine fixe, le poids est levé d'une longueur égale à la longueur de corde enroulée autour du treuil. Dès lors, pour utiliser l'*énergie* dans un cas qui ne soit pas celui de l'équilibre, Pitot fait remarquer que dans une machine à l'équilibre qui serait légèrement perturbé, la corde s'enroulerait d'un arc infinitésimal, et ferait avancer la machine mobile vers le point fixe (ou lèverait le poids mobile dans la machine fixe) d'un arc égal. Alors "*par une suite infinie d'arcs infiniment petits [...] la machine montera vers le point fixe [...]*" (p. 100). Pour utiliser les *énergies*, Pitot conçoit donc le mouvement de la machine comme une suite ininterrompue de perturbations infinitésimales d'équilibre dans le sens du mouvement, et passe à l'intégrale. Quantité de mouvement et *énergie* au sens de Bernoulli-Varignon sont alors rendues équivalentes.

Il faut cependant noter que ce terme ne figure qu'une seule fois dans ce mémoire, et il n'est pas sûr que Pitot en perçoive la spécificité. Le principe de Bernoulli-Varignon n'est cependant connu que depuis peu, par l'ouvrage posthume de Varignon publié en 1725, la même année que le présent mémoire.

3.B.c.ii UN PAS EN AVANT, UN PAS EN ARRIERE

C'est grâce à Pitot que Parent devient lisible. Il en effectue une traduction utilisable par quiconque maîtrise quelques bases mathématiques. Mais en dehors de son extrême dextérité mathématique, apporte-t-il quelque chose conceptuellement ?

⁴²³ *Ibid.*

Nous avons déjà remarqué la similitude des motivations de Pitot avec celles de Parent, qui tient à la capacité de juger et comparer les machines, c'est-à-dire avoir un critère permettant de prévoir si l'effet escompté par l'inventeur ou le propriétaire peut ou non avoir lieu. Les machines calculées sont citées, et correspondent soit à des machines réellement en fonctionnement à Paris à l'époque, soit à des propositions faites à l'Académie, comme des chars dont la propulsion est donnée par un petit moulin à vent embarqué, par exemple celui de Du Quet. C'est donc dans un souci d'expertise que Pitot met sa méthode au point. Ceci lui permet par exemple de déterminer à combien de chevaux serait équivalente une machine mobile utilisée depuis peu pour remonter les bateaux de Rouen à Paris. Cette machine, calcule-t-il, ne pourrait faire *“tout au plus que la force d'un cheval”*.⁴²⁴ Il montre également *“qu'on ne peut tirer une force considérable du choc de l'eau du courant ordinaire des rivières. C'est pour cela même qu'à presque toutes les machines muës par l'eau, comme celles qui servent à mouvoir les pistons des pompes, les marteaux de forge, & la plupart des moulins à bled, à papier, à poudre, foulon, &c. on retient l'eau par plusieurs moyens pour faire des especes de reservoirs, ou biais, dont le niveau soit élevé au-dessus des aubes de la rouë, à proportion de la force dont on a besoin, car une très petite chute d'eau a plus de force que le courant ordinaire d'une rivière”*⁴²⁵; il calcule ensuite ces sortes de machines.

La méthode employée, quant à elle, est réellement innovante, passant par l'utilisation de la méthode lahirienne, et vise à parvenir à des formules générales. Pitot, tout comme Parent, met un produit $P.v$ au centre de l'évaluation. *Ce $P.v$ recouvre-t-il la même idée que Parent*, en diffère-t-il et si oui en quoi ?

D'un simple point de vue du vocabulaire, Pitot, sans doute dans une volonté de minimisation des concepts, ne charge pas son texte de mots tels qu'*effet général* ou *effet naturel*, et utilise préférentiellement l'expression de *“quantité de mouvement”* pour désigner ce produit, bien qu'on trouve à l'occasion le mot *“effort”*. Oui, mais le vocabulaire peut être trompeur, les exemples abondent dans l'histoire de la mécanique de cette époque. En effet, cette quantité de mouvement est d'une acception autre que celle de Descartes, pour qui la quantité de mouvement ne pouvait désigner que le produit d'une masse, ou quantité de matière, par la vitesse de cette matière, concept que Descartes utilise préférentiellement pour les chocs. De toute évidence, ce n'est pas cela dont il est question chez Pitot. D'une part, nous n'avons pas tant affaire à une quantité de matière qu'à une pression, celle exercée sur la pale. D'autre part, la vitesse n'est pas proprement la vitesse absolue du fluide qui vient frapper la

⁴²⁴ PITOT, *“Nouvelle méthode pour connoître & déterminer l'effort”*: 85.

⁴²⁵ *Ibid.*: 86

pale, non plus que sa vitesse relative par rapport à elle: v désigne la vitesse de la pale elle-même. La “quantité de mouvement” n’appartient donc pas en propre à un corps (Descartes dénonçait déjà toute forme de substantialisme) mais en outre on ne saurait clairement la circonscrire : la quantité de mouvement générée est liée aussi bien à l’eau qu’à la pale. Elle n’est pas, ainsi, la quantité de mouvement de l’eau qui pourtant choque la pale et dont chaque molécule devrait communiquer un $m.v$ à la pale. La quantité de mouvement doit plutôt ici être comprise comme la caractéristique du comportement d’un *système* dont chaque partie dépend des autres et varie avec elles. Elle réside dans ce non lieu de la fiction systémique.

Mais Pitot, c’est l’une de ses hypothèses de départ, assimile la machine au levier. Dès lors sa *quantité de mouvement* doit être mise en lumière par l’utilisation qui commence à en être faite dès la fin du 17^e siècle dans les machines simples telles que levier, poulie, etc. En effet, le levier (et les autres machines simples si on tend à les réduire à cette première machine), a ceci de remarquable que, si l’on suppose des forces toujours appliquées aux mêmes points de ce levier et perpendiculairement (ou du moins formant toujours le même angle par rapport) à celui-ci, et si l’on suppose également un mouvement uniforme et non accéléré, il a donc ceci de remarquable que le rapport des leviers va être égal au rapport des vitesses prises par les points d’applications des forces. Un cabestan actionné par un cheval, correspond à une telle description, ainsi qu’un moulin à eau, pour peu que l’on conçoive qu’une machine recevant la force de l’eau en un point absolu de son référentiel puisse être équivalente à cette autre recevant la force de l’eau en un point physique unique de sa structure, mais une force gardant alors toujours le même angle d’application par rapport à la pale.

A partir de cette dépendance géométrique appliquée à l’égalité des moments d’un levier, il est alors pensable de transformer cette dernière en une égalité de $P.v$. On commence alors à appeler ce produit quantité de mouvement, dans une indistinction de la masse et du poids relativement fréquente. Mais cette transition, ou cet abus de langage, marque également la prégnance d’une phénoménologie du choc dans la conception de la nature physique. Parent déjà, affirmait qu’il n’existe pas de physique du choc qui ne soit en même temps une physique de la nature toute entière (cf. la préface des ses *Elements*⁴²⁶). Utiliser alors le mot de quantité de mouvement pour une roue hydraulique est donc une sorte de manifeste proclamant l’unité de la physique, et en l’occurrence la croyance en une analyse de la statique ou du mouvement uniforme par les outils théoriques de la physique des chocs, faisant dériver celle-là de celle-ci.

⁴²⁶ PARENT, *Elémens de mécanique et de physique où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps avec l'explication naturelle des machines fondamentales.*

On comprend alors mieux la fonction de la fiction lahirienne de substituer à ce choc d'un fluide composé d'innombrables particules, la poussée ou la pression d'un solide d'eau dimensionnellement assimilable à un poids. Le solide d'eau ainsi habilement constitué a en effet pour vitesse celle de la pale, et la roue hydraulique peut être interprétée sous le schème de la communication (qui n'implique pas forcément transmission) de quantité de mouvement générée par les chocs.

On sentait déjà cela chez Parent, et le lien qui pouvait exister entre ses concepts d'effet et la quantité de mouvement. Mais on a vu également en quoi ils s'en distinguent, et toute l'originalité des effets parentiens. Ils se fondent dans une mesure qui, si elle est formellement dépendante de son contexte théorique, montre cependant des signes d'une acculturation, c'est à dire de la création d'un sens nouveau au contact des problématiques de production. Ainsi le choix de Pitot de dénommer cette mesure *quantité de mouvement*, si elle est louable dans l'objectif qu'il se donne implicitement, qui est clairement de rapprocher mécanique pratique et mécanique théorique ou plutôt de soumettre la mécanique pratique à la mécanique théorique, opère fatalement d'une forme de recul. A la riche impureté des concepts de Parent qu'il juge sans doute brouillons et peu clairs, Pitot préfère la synthèse et le rattachement à des concepts déjà éprouvés. Il n'a pas tant l'ambition comme Amontons et Parent, chacun à leur manière, de décrire un fonctionnement, que de ramener ce fonctionnement à un système préexistant. Pitot est en somme, pour les roues hydrauliques, le point ultime de ce que peut accomplir une physique théorique d'essence cartésienne : il pousse les outils au maximum de ce qu'ils peuvent donner, dans l'exigence de simplicité et de généralité, mais au prix d'une éradication de l'impureté où résident de nouvelles formes d'interprétation. Son imagination est bridée par l'exigence de cohérence interne.

Ainsi, on ne trouve pas chez Pitot de réflexion sur les frottements, ni dans les mémoires ici examinés, ni ailleurs. Parent, au moins, conçoit bien que les frottements devaient jouer un rôle, et déverse un nombre impressionnant de mémoires à ce sujet dans les PV de l'Académie, en ayant sans aucun doute pour objectif qu'un jour ces deux matières, machines mues par les fluides et frottements, parviennent à s'hybrider. Le temps lui a manqué pour accomplir ce grand projet. Pitot ne s'intéresse pas le moins du monde à cela, et on pourrait presque dire qu'il opère un retour à une mécanique de l'esprit au sujet de ces machines.

Il faut aussi remarquer cette autre différence par rapport à Parent. C'est que le concept d'*effet naturel* ne trouve absolument aucune correspondance dans le mémoire de 1725. On l'a vu, chez Parent, ce concept exprimait en quelque sorte la potentialité du fluide. A présent il n'apparaît pas. Pitot ne rapporte jamais la quantité de mouvement générée au sein de la

machine, que ce soit celle communiquée par le mouvement du système eau-pale, ou celle communiquée à la force (tel qu'un poids levé), à une quelconque quantité de mouvement ou *effet* du fluide. Pitot ne chausse pas les mêmes lunettes, pour ainsi dire, et cette question est sans doute pour lui dénuée de pertinence. Pitot ne s'intéresse qu'à une dialectique entrée/sortie, et encore ne faut-il pas comprendre par là un rendement puisqu'il ne s'intéresse pas au frottement, mais simplement à la différence de norme des quantités de mouvement, poids et vitesse, en entrée et en sortie. En aucun cas on ne trouve l'idée ici que le fluide renferme une potentialité.⁴²⁷

Plus exactement même, l'utilisation de procédures statiques stérilise la dialectique entrée/sortie en ce qui concerne le travail. En effet, les procédures statiques, dont le symptomatique principe de Bernoulli-Varignon évoqué par Pitot fait partie, ne perçoivent pas la machine comme le lieu d'une transmission d'une force ou d'un travail d'une entrée à une sortie (et encore moins comme une transformation d'une force en un effet), mais comme l'équivalence entre les deux termes d'une application. En tant que telles elles sont inadaptées à l'apparition d'un concept de travail mécanique, car celui-ci se définit précisément par des contextes de production, de dépense, et de coût, dans lesquels il s'agit de savoir combien il reste à la sortie de ce qu'on a donné à l'entrée. Chez Pitot, malgré la clarté de l'exposition mathématique, il subsiste en 1725 une ambiguïté sur sa capacité réelle à penser la machine comme le siège d'une transmission du travail

Néanmoins d'autres composantes de la démarche parentienne sont sauvées, comme on peut facilement s'en rendre compte. Ainsi la recherche d'un *maximum* et la prise de conscience de l'interdépendance des composantes P et v dans les machines hydrauliques semble désormais acquises. La machine n'est plus seulement le siège d'un duel entre forces qui se détruisent, mais le lieu d'un maximum possible parmi toutes les configurations, lieu de perfection et de moindre contrainte.

Cette méthode implique par ailleurs, et ceci est loin d'être négligeable, l'existence d'une force-pour-mouvoir qui ne puisse pas se résumer à un simple poids statique. Cette force pour mouvoir n'est pas comprise ici au sens d'Amontons, mesurable par un peson, un dynamomètre dira-t-on plus tard. Pour Pitot comme Parent avant lui, force du fluide et vitesse sont interdépendantes de telle sorte que la force exercée par le fluide n'est pas en dépendance linéaire avec la vitesse, quelque soit la manière dont on la prenne. Réside au cœur de cette

⁴²⁷ Peut être ce dernier point est-il lié à un refus de Pitot d'intégrer dans ses analyses et sa pratique de la physique des considérations d'ordre métaphysique sur la proportionnalité ou non des effets aux causes. En tout cas, Pitot n'en discute pas. Il ne considère que des "effets" actuels.

prise de conscience, la conception d'une machine en mouvement, et non plus en équilibre, qui intègre en elle une logique de transmission.

Dans le même temps, on peut se poser la question de savoir à quel point Pitot s'engage dans cette vision dynamique des choses, puisqu'il forme l'hypothèse initiale que la machine puisse se comparer à un levier, et que la dernière phase de son mémoire, où il montre l'équivalence des moulins à eau fixes sur la terre et des machines à remonter les bateaux portées par les bateaux eux mêmes, utilise des outils et des méthodes caractéristiques de procédures statiques. Pitot est ainsi dans ce mémoire sur deux versants à la fois : dans la majorité du mémoire, il raisonne sur une machine en mouvement, avec des méthodes dérivées de celles de Parent pour finalement dans les toutes dernières pages utiliser des méthodes statiques, argumentant implicitement pour un traitement des machines en mouvement par une méthode de succession d'états d'équilibre. Il faut noter cependant que l'utilisation de ces procédures est motivée par la volonté de trouver les résultats les plus généraux possibles.

Ainsi il est difficile de juger si le mémoire de Pitot est une avancée ou un recul dans la constitution du concept de travail mécanique. D'un point de vue de la synthèse et de la généralité, de la diffusion des principaux résultats de Parent, de l'existence d'un maximum, et de la considération d'une machine en mouvement où se loge un élément dynamique, Pitot apporte clairement une contribution. Mais considérant à présent la perte de l'idée de potentialité, de sorte que l'effet apparaisse comme déjà réalisé et détaché d'une idée d'actualisation d'une potentialité, la prégnance sous-jacente à la machine en mouvement de l'idée de machine statique et la non considération des frottements, Pitot exerce une forme de recul.

En 1725 donc, la mesure P.v de Pitot, ce qu'il appelle abusivement *quantité de mouvement*, reste dans un état d'indétermination et il est bien difficile de dire si elle peut être considérée comme un antécédent du concept de travail mécanique. S'il faut donner une conclusion à ce mémoire de 1725, nous dirons que l'intérêt de Pitot réside plus du côté de la synthèse qu'il permet, que de la création conceptuelle, puisque le concept parentien apparaît finalement appauvri, quelque part entre la quantité de mouvement cartésienne et le travail mécanique. A défaut d'utiliser clairement ce dernier, la généralité de la méthode et des formules qu'il donne rendra cependant possible de penser dans un seul mouvement les effets de toutes les machines hydrauliques.

3.B.d. 1737 : PLUS NETTE INSERTION DANS UNE LOGIQUE DE PRODUCTION

Les calculs de Pitot s'avèreront utiles par la suite, notamment quand un certain Lassise, menuisier de Farmoutier en Picardie, propose en 1726⁴²⁸ un moulin à vent pour labourer la terre sans bœufs, ni chevaux, différent du chariot à voiles de Du Quet que ce dernier a voulu employer au même usage. Ainsi en est-il également des machines à remonter les bateaux de M. Boulogne.⁴²⁹

Pitot raffindra par la suite ses calculs, en cherchant comment interviennent le nombre et la largeur des aubes dans l'effet⁴³⁰. Prenant des roues de 4 à 20 aubes, disposées de sorte que l'eau n'en puisse frapper qu'une quand celle-ci a sa direction perpendiculaire au fluide, il donne une petite table indiquant la hauteur que ces aubes doivent avoir. Le propos est modeste ici, puisqu'il s'agit seulement de déterminer le nombre des aubes qu'une roue devrait avoir pour donner l'effet maximal d'après les dimensions de la roue et la hauteur des aubes, ou inversement la largeur que les aubes devraient avoir. Il détermine ainsi qu'une des machines présentées par Caron devrait avoir 7 aubes et non 9 comme l'inventeur a imaginé sa machine, et qu'une autre de Boulogne devrait avoir ses aubes légèrement moins hautes. Le "plus grand effet" dont il est question est celui calculé dans le mémoire de 1725, et ce nouveau mémoire ne présente de ce point de vue aucune innovation notable.

Il s'intéresse la même année⁴³¹ à comparer l'effet de machines dont l'arbre qui porte les aubes est perpendiculaire au courant du fluide, à l'effet de celles dont l'arbre est parallèle au courant. En somme, les roues de moulins vs les hélices. Encore une fois, ce sont les inventions proposées à l'académie qui ont stimulé Pitot : son but est de pouvoir comparer une nouvelle machine proposée par Duguet aux machines déjà présentées par Boulogne et Caron. Ce mémoire fort intéressant ne donne cependant pas de développements supplémentaires de ce que Pitot appelle désormais de plus en plus l'*effet de la machine*. En effet, la substance du mémoire ici est de considérer en quoi l'obliquité des aubes va influencer sur les impressions, et il suffira alors de corriger les formules générales trouvées en 1725 en vertu de la diminution d'impression consécutive de leur obliquité. Les "hélices" de Duguet ne sont en effet rien d'autre que des genres de moulins à vent mais animés par de l'eau, un cas déjà compris dans

⁴²⁸ HMARS: 1726, H, 69.

⁴²⁹ Ibid.: H, 72.

⁴³⁰ PITOT, HENRI, "Remarques sur les aubes ou palettes des moulins, & autres machines mûes par le courant des rivières", HMARS, 1729, M, 253-258.

⁴³¹ PITOT, HENRI, "Comparaison entre quelques machines mûes par les courants des fluides. Où l'on donne une méthode très-simple de comparer l'effet de celles dont l'arbre qui porte les ailes ou aubes est perpendiculaire au courant de l'eau, à l'effet de celles dont le même arbre est parallèle au courant." HMARS, 1729, M, 385-392.

les formules générales de Pitot de 1725. A propos de l'effet lui même, il se contente de répéter que

dans toutes les machines mûes par le courant de l'eau, on ne doit point y avoir égard, & que pourvû que la quantité de surface d'aube frappée par le courant, reste la même & dans un même courant, l'effet de la machine restera le même, quoique le centre d'impulsion soit plus ou moins éloigné du centre de l'arbre, car puisque le centre d'impulsion doit toujours tourner avec le tiers de la vitesse du courant de l'eau (ainsi que je l'ai démontré, art. V de mon mémoire sur le plus grand effet des machines page 79 des mémoires de l'Académie de 1725.) il est évident que ce qu'on gagneroit en force, en éloignant le centre d'impulsion, on le perdrait en temps, ou réciproquement ce qu'on gagneroit en temps, en approchant ce même centre, on le perdrait en force.⁴³²

Enfin, après quelques autres mémoires relatifs à divers sujets hydrauliques mais non spécifiquement les machines, il propose en 1737 un dernier mémoire⁴³³ concernant l'effet qu'on doit espérer des machines. Les premières lignes transpirent l'exaspération d'un Pitot lassé de la naïveté et de l'incompétence récurrente dans de trop nombreuses machines expertisées :

Dès qu'un machiniste sans principe croit avoir inventé une machine nouvelle, capable de faire un grand effet, l'extrême envie qu'il a de réussir, fait qu'il n'examine plus si cet effet est possible, il passe par dessus tous les inconvénients; l'amour propre, la gloire, & souvent l'envie de gagner & de faire fortune, le persuadent entièrement de la réussite de la machine. S'il demande l'avis des personnes capables de le détromper, c'est à condition qu'on sera de son sentiment, sans cela il en accuse l'envie, & croit qu'on veut lui ravir un bien réel. Enfin, étant pleinement persuadé, il exécute sa machine, il fait de la dépense; c'est encore beaucoup si après le mauvais succès, il reconnoît sa faute, & s'il avoue qu'il a suivi trop légèrement ses idées mal digérées.⁴³⁴

C'est pour tâcher d'épargner la dépense faite par les machinistes, et accessoirement qu'on arrête de l'ennuyer avec des machines mal conçues, que Pitot énonce un calcul très simple permettant de connaître par avance *“le plus grand effet ou produit qu'on doit espérer d'une machine”*. Le cadre se veut extrêmement général puisqu'il concerne toutes les machines, qu'elles soient actionnées par des hommes, des chevaux, ou l'impulsion d'un fluide tel que l'eau, le vent, ou le feu. Il faut alors considérer quatre quantités, à savoir la force motrice qui meut la machine, la vitesse de la force motrice, ou son chemin dans un temps donné, la force de la résistance ou du poids mû par la machine, et enfin la vitesse ou le chemin de ce poids dans le même temps donné. Le produit des deux premières quantités doit nécessairement être égal au produit des deux dernières, *“ces produits étant les quantités de mouvement. Or par le principe fondamental des Mécaniques dans toute machine les quantités de mouvement sont toujours égales ; c'est de l'égalité parfaite de ces deux produits ou des quantités de mouvements, qu'on peut déterminer par des règles très-simples le plus grand*

⁴³² Ibid.: 392

⁴³³ PITOT, HENRI, "Regles pour connoistre l'effet qu'on doit espérer d'une machine", HMARS, 1737, M, 269-272

⁴³⁴ Ibid.: 269

effet de toutes les machines, car trois de ces quantités étant connues et données, on trouvera la quatrième. »⁴³⁵

Pitot applique alors cette règle à une machine pour fournir de l'eau à Paris, dont l'annonce a été faite par "*les nouvelles et les gazettes*", et dont le promoteur se vante qu'elle puisse élever à la hauteur de 30 pieds la quantité de plus de 100000 muids d'eau par jour sans cependant rien dire sur le moteur nécessaire pour faire agir une telle machine.

Pitot s'adonne alors à un calcul très simple, et dont on a déjà rencontré des occurrences, par exemple avec Rømer en 1676, bien que chez ce dernier le propos se veuille beaucoup moins général, destiné seulement aux machines hydrauliques. Pitot, donc, considérant qu'un muid d'eau pèse 560 livres, divise le poids total de l'eau élevée dans la journée par le nombre de secondes en 24 heures, pour obtenir les 648 livres que la machine doit donner à chaque seconde. C'est cette dernière valeur qu'il multiplie par le chemin que l'eau doit faire, 130 pieds. Si l'on prend comme puissance mouvante des hommes ou des chevaux, dont la main ou le pas se meut à 3 pieds par seconde, il est alors facile de trouver par un simple produit en croix la valeur de la force ("puissance") nécessaire à faire mouvoir la machine. Dans le cas présent, 28080 livres. Prenant comme estime de la force des hommes pour mouvoir la valeur de 25 livres, et celle des chevaux de 175 livres, quand ils donnent à cette force une vitesse de 3 pieds par seconde, Pitot en conclut qu'il faudra 160 chevaux pour faire aller la machine, "*en supposant la machine la plus parfaite qu'il soit possible, & sans frottement*"⁴³⁶ (p. 271). En comptant ces derniers, il faudra alors, estime Pitot, 200 chevaux ou de 1400 à 1500 hommes. En outre, si l'on veut faire agir la machine 24 heures de suite, il faudrait "*pour un travail continu, doubler & même tripler, le nombre des hommes & des chevaux*", soit "*environ 4000 hommes ou 600 chevaux*", "*pour le service de cette machine*". "*Peut-on à présent ne pas convenir que pour faire faire un grand effet à une machine, il faut un moteur puissant & proportionné ?*"⁴³⁷

Le ton est sans ambiguïté, légèrement ironique et excédé. Les derniers mots du mémoire réaffirment d'ailleurs l'argument massue qui vient définitivement discréditer les machinistes non versés dans les principes de leur pratique: si les "quantités de mouvement" n'étaient pas conservées, le mouvement perpétuel adviendrait et l'eau une fois puisée et réaffectée au mouvement de la machine, finirait par se puiser elle même.

⁴³⁵ *Ibid.*: 270

⁴³⁶ *Ibid.*: 271.

⁴³⁷ *Ibid.*: 272.

Mais ici l'ambiguïté est moindre. Le sujet, en effet, est assez clairement inséré dans une logique de production et de dépense. Ainsi, argue-t-il :

[...] on ne dit rien du moteur ou agent nécessaire pour faire agir une machine capable d'un tel effet, c'est-là cependant par où on doit toujours commencer ; car peut-on juger de avantages d'une machine, sans comparer son produit avec la dépense nécessaire pour la faire agir ?⁴³⁸

Il montre ainsi la logique de rendement à la base d'une réflexion dans un contexte de production, qui suppose qu'on obtienne en sortie une même forme qu'en entrée. Ceci suppose une transmission (ou une transformation), et un principe de conservation. C'est à cette condition qu'une mise en rapport est possible. Ici, donc, on pourrait parler de la présence d'une notion de travail mécanique. Mais ce n'est pas cette contribution de 1737 qui marquera le plus les esprits, ni qui fera beaucoup pour l'avancée de l'utilisation du concept.

3.B.e. CONCLUSION : LOGIQUE D'EXPERTISE ET DISCOURS SUR LES LIMITES.

Pour conclure sur Pitot, il nous semble essentiel de retenir deux idées. Premièrement, c'est en tant que juge et expert de la machine que Pitot est amené à réutiliser la pseudo-quantité de mouvement P.V, dont on a tracé tous les rapports qu'elle entretient avec une notion de travail mécanique. Caron, Lassise, Du Quet, Du Guet, Boulogne, sont autant d'inventeurs dont les machines se retrouvent dans les mains de Pitot, comme on l'a vu. Investi par l'Etat du pouvoir et du devoir de juger écono-mécaniquement les machines, par une double enquête sur l'utilité et sur la nouveauté des machines comme le stipule le règlement de 1699⁴³⁹ confirmé en 1716, les hommes assignés à cette tâche doivent inventer de nouvelles procédures d'analyse de la machine.

Pitot n'est pas le premier, mais se spécialise dans la machine hydraulique. On a vu qu'il ne fait que reprendre le flambeau d'une pensée technologique encore balbutiante (cf. chapitre 1), où les matières de la technique et de la science se mêlent pour créer des objets, des concepts, qui puissent répondre à des problématiques de prévision, de travail, de production. PV répond à ces besoins d'abord parce qu'on a remarqué depuis longtemps (Galilée, déjà) son invariance. Mais un invariant ne suffit pas à définir le travail. C'est au

⁴³⁸ *Ibid.*: 270-271.

⁴³⁹ Article XXXI: "L'Académie examinera, si le Roi l'ordonne, toutes les machines pour lesquelles on sollicitera des privilèges auprès de Sa Majesté. Elle certifiera si elles sont nouvelles et utiles, et les inventeurs de celles qui seront approuvées seront tenus de lui en laisser un modèle." (cf. par exemple : INSTITUT DE FRANCE (éd.), *Lois, statuts et règlements concernant les anciennes académies et l'institut de 1635 à 1889. Tableau des fondations. Collection publiée, sous la direction de la commission administrative centrale, par M. Léon Aucoc, Paris, Imprimerie Nationale, 1889*).

contact de ces problématiques que PV va se teinter de la couleur de la production et devenir le signe du travail mécanique ou de la puissance.

En ce sens, le travail mécanique répond à un besoin. En l'occurrence, dans ces textes de l'Académie Royale des Sciences, celui des experts chargés de déterminer si une machine mérite privilège ou non. Le choix du critère de jugement de la machine n'est donc pas innocent et ne va pas de soi. Il en faut un qui réponde aux exigences stipulées par le règlement, utilité et nouveauté. De ces deux mots, le premier au moins est ambigu. Qu'est-ce qu'une machine utile ? Les experts répondent par le choix d'un indicateur qui va former la première substance du travail mécanique : une machine utile est une machine qui permette l'utilisation optimale de PV, parce que PV représente le travail des hommes, des bêtes ou des éléments, et que le rapport de ce qu'il en reste sur ce qu'il en a coûté est un miroir de la logique économique autant que mécanique de la machine.

Autrement dit, une bonne machine est une machine qui transmet le maximum de travail. Le critère de sélection, ce par quoi on juge qu'elle est fiable et vaut à son inventeur le privilège tant convoité, c'est sa distance au point d'optimalité du travail. Validation par la production.

Les liens entre l'Etat et les Académiciens se tissent tout au long de ces années. Pas seulement au sens où les Académiciens vont se placer et faire carrière dans les futures institutions étatiques, mais aussi au sens où les compétences et les méthodes qu'ils développent se calent sur ce que l'Etat, mu d'une logique propre, exigent d'eux. Les deux corps entrent alors en dialectique.⁴⁴⁰ Cela n'a rien d'un hasard de voir plus tard Perronet, encore un ingénieur académicien, nommé premier directeur de la toute nouvelle Ecole des Ponts et Chaussées.

La deuxième idée qu'il est important de souligner, est que la machine se place dans une rhétorique de la limite. Pitot raille les machinistes ignorants, que Parent et d'autres conspuaient déjà. Mais ils les raillent pour leur rappeler ou leur apprendre ceci : l'effet a une limite. La limite du moteur, c'est-à-dire de ce qui meut la machine. Ce qui nous semble évident aujourd'hui, de toute évidence ne l'est pas à cette époque. Pitot le réaffirme, comme tous les académiciens mécaniciens : ce n'est pas la *figure* de la machine qui crée la force ou le travail. Elle n'est qu'une médiation, une manière d'appliquer, de mettre en communication

⁴⁴⁰ Sur le sujet des ingénieurs des ponts et chaussées on consultera : GRALL, *Economie de forces et production d'utilités*.

une entrée et une sortie. Négation du mouvement perpétuel ? Certes. Mais il y a plus.⁴⁴¹ Pitot, en droite ligne de Parent, reprend une vision de la machine où il ne suffit plus d'appliquer une force à une extrémité pour en trouver une équivalence à l'autre extrémité de l'application. Et même, suprême horreur, une force ou une vitesse trop grandes peuvent amener un produit décroissant. Il y a des lois de fonctionnement de la machine, nécessitant des rapports de vitesse déterminées pour que la machine puisse amener une quantité optimale de travail de l'entrée à la sortie. La machine répond à des lois, *naturelles* car la raison d'être de ces limites et de ce fonctionnement est endogène à la matière composant la machine et à ses liaisons. Les connaître permet de les respecter, et de régler et optimiser la machine suivant le critère que l'on s'est choisi : transmettre un PV maximal.

Double limite donc : limite du produit, suivant ce que fournit le moteur (impossibilité du mouvement perpétuel), et limite structurelle donnée par l'optimalité de l'effet. Dans les deux cas, problème de régulation fondé sur un calcul d'utilité.⁴⁴²

On va voir maintenant que le travail répond à un autre besoin, ou du moins à un besoin lié. Celui des ingénieurs et des entrepreneurs. Bélidor va nous le montrer. Un Bélidor qui réinvestira les outils d'Amontons, Parent et Pitot dans un contexte uniquement axé sur la production, les faisant parvenir à un point jusqu'ici non atteint. Examinons ce qu'il en est.

⁴⁴¹ Il ne faudrait pas croire par cette formule que le sujet du mouvement perpétuel est simple. Cf. SCHAFFER, SIMON, "The show that never ends: perpetual motion in the early eighteenth century", *The British journal for the history of science*, n° 28, 1995, pp 157-189

⁴⁴² Si l'on donne au mot d'utilité l'interprétation que les académiciens en font : calcul de travail/ puissance.

3.C. BELIDOR : DU TRAVAIL QUANTIFIÉ AU TRAVAIL CONTRÔLÉ

3.C.a. POURQUOI L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE ?

Jusqu'ici, nous avons essentiellement étudié des textes de savants de l'Académie Royale des Sciences, dont l'approche, on l'a constaté, tenait aussi bien du théoricien que de l'ingénieur, voire du technologue. Nous allons à présent traverser la ligne de front, pour aborder un ouvrage d'ingénieur de la fin des années 1730 : l'*Architecture Hydraulique* de l'illustre Bélidor⁴⁴³, dont Pitot fut d'ailleurs chargé de l'examen.⁴⁴⁴

L'intérêt d'une telle étude est double. Le premier, en tout cas celui qui vient immédiatement à l'esprit, est d'observer si et comment les antécédents du concept de travail mécanique sont repris, utilisés, diffusés par les ingénieurs. Sachant que l'origine du concept provient en partie de ce milieu, il ne sera pas étonnant de le voir ré-émerger.

Il existe un second intérêt, plus stimulant. Car contrairement à ce qu'un préjugé facile pourrait faire croire, il ne sera pas uniquement question ici d'application de théories à la pratique de l'ingénieur. Applications, il y a, certes, mais on ne saurait résumer la pratique de l'ingénieur, et *a fortiori* de Bélidor, à n'être qu'un traitement numérique d'une suite de cas particuliers tirés d'une grande théorie fondamentale élaborés par d'autres. Il s'agit ici de savoir ce que Bélidor apporte au développement du concept de travail ou de ses antécédents, en plus que d'examiner le réemploi et la diffusion de cette notion en dehors du strict milieu de l'Académie des Sciences.

Cette démarche est d'autant plus justifiée que l'Architecture Hydraulique exercera une influence considérable sur les démarches des ingénieurs-savants du début du 19^e siècle, tels Navier ou Coriolis, à qui l'on doit l'émergence officielle du travail mécanique dans la physique théorique. Ainsi, l'ouvrage sera réédité par Navier en 1819, augmenté d'un nombre important de notes⁴⁴⁵. C'est dans l'une des additions écrites à l'occasion de cette réédition que Navier utilisera son expression de "*monnaie mécanique*" pour désigner un concept presque identique à celui que Coriolis dénommera *travail mécanique*.⁴⁴⁶ Ouvrage de référence pour

⁴⁴³ BELIDOR, *Architecture hydraulique. On a vu au chapitre 1 que l'expression d'architecture hydraulique est due à Bouillet (BOUILLET, Traité des moyens de rendre les rivières navigables...)*.

⁴⁴⁴ Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Pochette de séance du 21 février 1739, rapport de Nicole et Pitot. Voir aussi HMARS: 1737, H, 105.

⁴⁴⁵ BELIDOR, BERNARD FOREST DE, NAVIER, C.-L. (éd.), *Architecture hydraulique, annot. par Navier*, Paris, Firmin Didot, 1819.

⁴⁴⁶ Sur Navier, et le lien valeur-travail mécanique, on consultera avec profit l'inoxydable VATIN, *Le travail, économie et physique. Le calcul du travail en ce début de 19^e siècle a en effet pour but de donner une mesure de la valeur de différentes machines suivant un indicateur qui échappe aux prix du marché, et représentatif du*

tous les ingénieurs hydrauliciens, l'Architecture de Bélidor, ou du moins sa première partie, sera regardée comme scientifiquement dépassée à la fin du siècle, et Coulomb envisagera d'ailleurs en 1781 d'en publier une révision.⁴⁴⁷ Prony publiera de son côté une *Nouvelle architecture hydraulique*⁴⁴⁸ dès 1790. Ce lien entre Bélidor et ces ingénieurs-savants s'explique aisément par la similitude des démarches et des objets.

Si nous en avons le temps, nous ajouterions à cette thèse une étude de textes écrits spécifiquement par des ingénieurs,⁴⁴⁹ afin d'être en mesure d'illustrer plus exactement d'une part ce que doivent les premiers antécédents du concept de travail aux problématiques et méthodes d'ingénieur, et d'autre part comment ces antécédents sont repris. On constatera cependant que sur le premier point, l'étude de textes tels que ceux d'Amontons apporte des éléments importants, et en outre, nous abordons un peu ce sujet dans le chapitre 5. Sur le second, le présent paragraphe se propose une illustration.

3.C.b. UNE OEUVRE IMPRESSIONNANTE PAR SON AMBITION

Bélidor, et son *Architecture Hydraulique*, s'ils sont souvent cités, ne sont pourtant que rarement étudiés pour eux mêmes. Entrons dans le texte. Il impressionne déjà par son volume, représentant plus de 2000 pages en deux parties (I, II) de 2 volumes chacune (1, 2), publiée pour la première en 1737-39, et la seconde en 1750-52. Chacun des volumes in-quarto est séparé en deux livres, soit 8 livres au total.

Impressionnant, le texte l'est aussi par son ambition. Tout ce qui a trait à l'eau, théorie, machines et édifices, est traité: théorie des machines simples, théorie des chocs, hydraulique, théorie des pompes, machines mues par l'eau et/ou élevant l'eau, par la force des hommes, des chevaux, du feu, machines à chapelets, machines à épuiser l'eau, machines à remonter les bateaux, moulins à moudre la farine, moulins à piler, moulins à scier, fontaines, pompes, canaux, écluses, ports de mer... Soucieux de pédagogie et passionné par son propos, Bélidor ne se prive jamais de savoureuses digressions, ajoutant par exemple un chapitre sur

produit qu'on peut en attendre. Navier précise : "La comparaison de diverses machines pour le négociant et le capitaliste se fait naturellement d'après la quantité de travail qu'elles exécutent et le prix de ce travail. Pour estimer les valeurs respectives de deux moulins à blé, par exemple, on examinera quelle quantité de farine chacun peut moudre dans l'année ; et pour comparer un moulin à blé à un moulin à scier, on estimera la valeur du second d'après la quantité de bois qu'il débitera dans le même temps et le prix du sciage"(p. 376) Mais le problème qu'il met en exergue est de pouvoir déterminer un outil d'évaluation de la production avant que celle-ci n'advienne, et indépendante du marché : "Etablir une sorte de monnaie mécanique, si l'on peut s'exprimer ainsi, avec laquelle on puisse estimer les quantités de travail employées pour effectuer toute espèce de fabrication" (Ibid.).

⁴⁴⁷ Ibid.: 36.

⁴⁴⁸ PRONY, GASPARD-CLAIR-FRANÇOIS-MARIE RICHE DE, *Nouvelle architecture hydraulique*, Paris, F. Didot, 1790.

⁴⁴⁹ Sur quelques aspects de Bélidor dans la constitution de la figure de l'ingénieur moderne, cf. VERIN, *La gloire des ingénieurs*: 229 sq.

l'histoire du port de Dunkerque avant sa destruction, et même un passage hilarant sur la baguette divinatoire. Tout cela rend l'ouvrage agréable autant qu'instructif, sans compter le soin tout particulier de l'auteur pour les planches, une centaine au total, qui rendent les explications très commodes à suivre.

L'ouvrage, en effet, a un but didactique. Bélidor a une ambition totale : permettre à qui que ce soit, par la seule lecture de son ouvrage, de pouvoir s'appliquer à la conduite des ouvrages décrits. Il avoue qu'il ne visait pas si haut de prime abord, n'envisageant de ne traiter que "*différens ouvrages de maçonnerie, charpente, fascinage qui se font dans l'eau*"⁴⁵⁰ mais en 1729, à la veille de mettre au jour son ouvrage, voulant faire le projet d'une machine pour élever l'eau il fut "*fort surpris de ne sçavoir comment [s] y prendre pour en déterminer exactement toutes les parties, de manière à satisfaire un bon esprit qui [lui] auroit demandé compte de la disposition de chaque piece, la raison de leur dimension, celle du degré de vitesse qui pouvoit leur convenir, combien il devoit passer d'eau au réservoir, s'il n'étoit pas possible d'en faire monter d'avantage par l'action d'une puissance limitée, en tenant compte des frottemens; si on ne pouvoit pas remplir le même objet avec plus de simplicité & à moins de frais*"⁴⁵¹. Bélidor n'est pas homme à se résigner à la frustration. Il décide de s'instruire à fond sur tous les domaines concernés par la chose, afin de remanier complètement son ouvrage. Cette petite affaire lui causera 8 ans de retard, et sans doute les ires de son éditeur (Jombert), ce dont il n'a cure, convaincu, dit-il, qu'on lui saura gré d'avoir composé un ouvrage aussi unique. L'avenir lui donnera raison.

Le perfectionnisme de Bélidor se fait d'ailleurs sentir jusque pendant l'impression. Il suffit de consulter la première édition de l'ouvrage, comme nous l'avons fait, pour observer régulièrement des ajouts en fin de page ou de chapitre stipulant que telle ou telle partie annoncée en préface sera finalement ultérieurement traitée, ou que tel aspect complémentaire, étant parvenu à l'auteur en cours d'impression, sera traité à la fin d'un prochain chapitre. On voit que la pratique du remaniement de dernière minute ne dépend pas du média utilisé.

Le premier livre est consacré à un traité préliminaire de tout ce qui concerne la théorie, notamment celle du mouvement et du choc, celle des résistances causées par les frottements et la manière d'en calculer le "*déchet*", puis à des maximes sur ce qu'il faut observer pour que le lecteur puisse déterminer par lui-même "*toute la perfection qu'il est possible d'atteindre*"⁴⁵², à quoi peut se réduire la force des hommes et des chevaux, et enfin tout ce qui regarde le

⁴⁵⁰ BELIDOR, *Architecture hydraulique*: I, I, v

⁴⁵¹ *Ibid.*: I, I, v-vi

⁴⁵² *Ibid.*: I, I, viii.

mouvement des eaux, son action sur les parois, leur dépense, le déchet causé par les frottements contre les bords, la force du choc des courants contre les surfaces opposées, etc. Le second livre, toujours dans ce premier volume, est annoncé comme une application de l'eau aux roues de différentes sortes de moulins, et sur la vitesse qu'elles doivent avoir afin "*que la machine soit capable du plus grand effet*", en faisant entrer dans le calcul les frottements : y sont traités les moulins pour moudre le blé, à scier le bois, le marbre, à percer les tuyaux, à fabriquer la poudre de canon, à pulvériser le ciment, les moulins à chapelets, roues à eaux, et autres pour les épuisements. Le troisième livre, initiant le second tome de la première partie, publié en 1739, est consacré aux propriétés de l'air et à la manière dont l'eau monte par aspirations : il s'agit donc d'une part d'une théorie complète sur les pompes, à aspiration, à refoulement, ou combinées, mais aussi d'une théorie des moulins à vent dérivée des moulins à eau. Dans tous les cas, il donne les méthodes pour en calculer les effets, et toujours, les moyens de rendre toutes ces machines parfaites. Suivent la description et le calcul de différentes pompes, notamment la pompe du Pont Notre-Dame, qui d'après l'auteur fournit l'essentiel de l'eau de Paris, et pour laquelle il fut mandé par le Prévôt des marchands et les échevins de Paris en vue de son amélioration, ce dont il ne tire pas une petite gloire. Figure un devis (au sens de l'époque) complet des nouvelles pompes proposées. La machine du Pont Neuf, celle de Marly, les machines à incendies, et quantités d'autres émaillent cette partie. L'ouvrage de Bélidor est à ce titre une mine d'inventions et d'idées dans lesquelles il propose à tout un chacun de puiser. Le quatrième livre traite des machines à élever l'eau, la manière de les conduire aux fontaines publiques, de la faire jaillir dans les jardins d'agrément, et de la conserver dans les châteaux d'eau et autres réservoirs. C'est dans ce livre qu'on trouve (contrairement à ce qu'annonce la préface), la description de plusieurs machines à feu pour élever l'eau des puits profonds, notamment celles de Savery et de Papin. Amontons y est souvent mentionné mais l'auteur renvoie à la description des HMARS. La seconde partie, également en deux tomes, n'est publiée qu'en 1750-53, et présente de substantielles différences dans le ton, car il n'est presque plus question de faire intervenir l'algèbre, du fait de la différence des sujets traités, et, apparemment, des reproches que l'auteur a subi sur son style trop mathématique, pourtant très clair. Il y est question des canaux, écluses, et tout ce qui regarde la construction de ce qui se fait dans l'eau. On ne s'attardera cependant que peu sur cette seconde partie, pour se concentrer essentiellement sur la première, c'est pourquoi on n'entre pas ici dans le détail de son contenu.

3.C.c. LA CARTE DE LA THEORIE ET LE TERRITOIRE DE LA PRATIQUE

L'utilisation de l'algèbre a été reproché par certains à Bêlidor, a-t-on dit :

[...] mais comment veulent-ils qu'on fasse ? elle est devenue la clef de toutes les découvertes, il n'est pas possible de s'en passer, dès qu'on veut agir avec précision ; ce n'est que par son moyen que l'on peut déduire des méthodes pour operer sûrement dans la pratique. Le calcul litteral a cela d'avantageux, qu'il ménage la capacité de l'esprit en lui présentant une infinité d'objets sous l'expression la plus simple, sans être distrait par la complication de leur [sic] rapports ; il suffit de n'avoir attention qu'aux regles du calcul, & la plume seule conduit directement à la résolution qu'on cherche, qui devient ensuite une formule générale pour toutes les questions semblables [...]⁴⁵³

On le voit, ceci l'agace prodigieusement, car le point autour duquel tourne tout l'ouvrage, du moins la première partie, est précisément l'articulation entre la théorie et la pratique. Il a d'ailleurs soin d'ajouter des maximes pour rendre accessibles son propos à ceux ne possédant que de faibles lumières mathématiques.

Toute une partie de la préface est consacrée à expliquer en quoi les mathématiques peuvent être utiles aux "*praticiens*" (c'est Bêlidor qui emploie ce terme), preuve que cela ne va pas de soi à l'époque. Bêlidor associe, dans une veine qu'on reconnaissait déjà chez Parent, pratique et hasard. Or le praticien, quand il médite longtemps un projet pour "*ne se déterminer qu'en faveur du parti le plus avantageux*",⁴⁵⁴ agit de même que le géomètre. Simplement, "*toute la difference, c'est que les uns y arrivent sans s'égarer par une voye dont ils connoissent la marche, au lieu que les autres, privés des lumieres qui pourroient les guider, sont exposés à faire bien des faux pas.*"⁴⁵⁵ Ainsi les praticiens qui sont arrivés à quelque chose sont fort méritants, mais "*ne vaut-il pas mieux employer du papier pendant quelque tems, que d'être réduit à la disgracieuse nécessité de construire & de démonter plusieurs fois une machine avant de parvenir à la faire jouer rondement, comme cela n'est que trop ordinaire à ceux n'agissent qu'à tâtons*"⁴⁵⁶ ? Bêlidor insiste, car il existe, dit-il, un préjugé général considérant la pratique préférable à la théorie. A cela, l'auteur voit deux raisons : premièrement, l'ignorance crasse des personnes n'entendant rien aux mathématiques les rendent naturellement enclines à leur refuser toute prétention à la correction de la pratique. Qui pensent cela, bien souvent ? Les "*jeunes gens*" ! Car, comprenez-vous, "*occupés d'objets frivols, [ils] s'entretiennent dans un état de médiocrité*", croient pouvoir se dispenser de la théorie et "*affectent d'exalter la pratique*".⁴⁵⁷ Mais la seconde raison réside dans les traités de mathématiques mêmes, et leurs auteurs. En effet, les mathématiciens n'ont pas "*assez*

⁴⁵³ *Ibid.*: I, 1, iv-v.

⁴⁵⁴ *Ibid.*: I, 1, ii.

⁴⁵⁵ *Ibid.*

⁴⁵⁶ *Ibid.*: I, 1, 120, art. 317.

⁴⁵⁷ *Ibid.*: I, 1, iii pour les références de ces trois dernières citations.

appliqué à la perfection des arts les conséquences qu'ils pourroient tirer de leurs principes". Les ouvrages savants sont d'une désespérante "*sécheresse*", et découragent ceux souhaitant y puiser les connaissances nécessaires à la perfection de leur art, qui dès lors s'en détournent au profit des pauvres lumières des traités élémentaires de géométrie et de mécanique. Quant à l'algèbre, "*elle n'est propre qu'à servir d'amusement à ceux qui ont assez de constance pour s'occuper de questions difficiles qui ne mènent à rien*"⁴⁵⁸ alors qu'elle est absolument nécessaire pour résoudre les divers cas se présentant dans les travaux hydrauliques. Bélidor y voit cependant une notable exception : les mémoires de l'académie royale des sciences. Il est vrai, ce premier tome est dédié à ces messieurs de l'Académie⁴⁵⁹... Néanmoins il ne faudrait pas voir seulement une flatterie derrière cette mention : le cours de l'ouvrage se révèle riche de références presque exclusives aux mémoires de l'Académie, dont un nombre considérable consacrées à Parent et Amontons. Par là, Bélidor reconnaît et valide la spécificité de l'institution comme créatrice d'un discours technologique, une science de la technique destinée à l'action, la décision et la perfection des techniques. Bélidor se propose alors de créer un lieu convergent de toutes les méthodes et connaissances disponibles sur le sujet : son ouvrage. L'entreprise ne saurait se résumer à un dessein encyclopédique, malgré le côté catalogue de certains des chapitres de son ouvrage. Bien mieux, il s'agit de créer un monde commun aux savants et aux praticiens, instruits ou non. Le discours se veut didactique, synthétique, axiomatique par certains aspects, et a pour but de permettre l'autonomie des acteurs dans la création et l'amélioration de dispositifs techniques.

La position de Bélidor sur le rôle de la théorie est très équilibrée. C'est celle d'un homme de terrain habitué aux embûches et défavorable et conscient de la limite des systèmes. Loin de glorifier la théorie à la manière d'un Fontenelle ou d'un Parent, qui semblent penser qu'on peut réduire toute la matérialité des machines à l'empire du calcul, la vision qu'a Bélidor de la théorie est plutôt celle d'une carte, à laquelle correspond le territoire de la pratique. La théorie va donc guider, éviter de tâtonner, et orienter l'ingénieur ou le praticien dans la direction du point de perfection. Mais en aucun cas il ne faut s'enfermer dans la seule carte de la théorie, au risque de s'embarquer dans d'insolubles embarras. :

"[...] quand on veut [...] calculer exactement l'effet [des machines], on y découvre milles choses qu'on n'aperçoit qu'après un circuit de recherches ; il est vrai qu'on peut se dispenser d'être aussi scrupuleux, mais on se relâche toujours assez quand on vient à l'exécution, & si l'on vouloit traiter dans la rigueur géométrique tout ce qui

⁴⁵⁸ *Ibid.*: I, I, iv.

⁴⁵⁹ Il faut croire que ses efforts porteront leurs fruits, puisqu'il fut finalement nommé associé libre surnuméraire en 1756, soit presque 20 ans, tout de même, après la parution du premier volume de son *Architecture Hydraulique*.

appartient aux pilons seulement, on se trouveroit engagé dans des difficultez de calcul qui ne seroient pas aisées à résoudre.”⁴⁶⁰

La foisonnante matérialité ne saurait s’engoncer entièrement dans la théorie. Ainsi, il ne faut pas rester aveugle au territoire de la pratique, pour laquelle l’accommodation aux circonstances particulières est toujours nécessaire, et où apparaissent inévitablement des inconvénients imprévus voire imprévisibles. Les ouvriers sont parfois même plus susceptibles de parvenir au bout de certaines difficultés.⁴⁶¹ Pour paraphraser Albert Camus, nous pourrions faire dire à Bélidor que “*ni le réel n’est entièrement rationnel ni le rationnel tout à fait réel*”.⁴⁶²

En outre une bonne machine se définit par plusieurs critères :

Dans le projet d’une machine on doit sur toutes choses y faire entrer le choix du lieu où il faudra la placer ; si elle doit être permanente, il faut prévoir tous les inconvénients auxquels elle pourra être sujette, soit de la part des grandes eaux ou des sécheresses : si c’est une machine située sur une rivière dont le courant soit le moteur ; si elle n’incommodera pas le public, ou si elle-même n’en recevra point de préjudice, soit dans le tems présent ou avenir.

Après avoir déterminé le mécanisme qu’on aura trouvé le plus convenable selon l’objet qu’elle doit remplir, & calculé le poids qu’on veut qu’elle élève, il en faut faire un devis bien circonstancié où les dimensions de chaque partie soient exactement rapportées avec leurs façons ; [...] (I, 1, 119-120, art. 317)

Dans ce cadre, l’effet de la machine dans son acception mathématique, s’il n’est pas l’unique référent, va cependant accéder à un statut privilégié dans les critères de choix et de dessin de la machine. C’est ici que les choses nous intéressent particulièrement.

3.C.d. LA “QUANTITE DE MOUVEMENT” COMME MESURE DU TRAVAIL

3.C.d.i DU MOMENT A LA QUANTITE DE MOUVEMENT

Les premières pages de l’Architecture Hydraulique s’ouvrent sur une définition de la mécanique :

La mécanique est une science qui considere le rapport qui se rencontre entre les *Forces* ou *Puissances* qui agissent pour mouvoir les corps, & les *vitesses* avec lesquelles ils seroient mûs, s’il ne se rencontroit point

⁴⁶⁰ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique: I, 1, 80-81, art. 238*

⁴⁶¹ [...] il n’y a point d’ouvrages de quelque nature qu’il soit, où l’on ne découvre des imperfections après l’avoir achevé ; il faut pour n’avoir point de regret faire plusieurs projets différens pour combiner toutes les façons dont une même chose peut être exécutée; méditer sérieusement les avantages et les deffauts dont chaque projet est susceptible [...] afin de choisir le meilleur. [...] & comme à moins d’un grand usage il est rare qu’un homme de cabinet puisse bien juger de la résistance de ces différentes matieres [lanternes, dents, pignons, en cuivre, en fer, en bois...] & de la façon qu’on doit les mettre en œuvre, il faudra se communiquer avec d’habiles ouvriers.” (I, 1, 119-120, art. 317)

⁴⁶² CAMUS, ALBERT, *L’homme révolté*, Paris, Gallimard, 1972(1951): 354

d'obstacles : le tout considéré dans l'état d'*équilibre*, c'est-à-dire dans l'état où se rencontrent deux ou plusieurs puissances qui agissant les unes contre les autres autour d'un point *fixe* demeurent en *repos*.⁴⁶³

S'en suit un petit traité des machines simples à l'équilibre, dans une démarche qui doit sans doute beaucoup à Varignon, car tirée du seul axiome du parallélogramme des forces. Après les lois mécaniques, sont exposées leurs applications au levier, dont l'égalité des moments de deux puissances en équilibre, puis la manière de réduire les autres machines simples, plan incliné compris, à ce dernier.

Mais l'objet de la mécanique est bel et bien de mettre les corps en mouvement : on ne peut donc pas se contenter des règles susdites, argumente Bêlidor. Il est alors nécessaire de comprendre quel rapport entretiennent entre elles les vitesses des corps quand l'un d'eux "*ayant tant soit peu d'avantage sur l'autre venoit à rompre l'équilibre*". On retrouve ici la tension permanente entre équilibre et mouvement, fondatrice de la mécanique d'inspiration cartésienne à laquelle Bêlidor se réfère, et dont le point de fuite réside dans une conception du mouvement comme suite indéfinie d'états d'équilibre permanents. Une stratégie également au cœur de la conception de la physique des chocs, chez Dechales, Parent ou Dortous de Mairan. Cette tension s'avèrera en bien des occasions assez malcommode pour Bêlidor, notant à plusieurs reprises qu'une machine en mouvement ne *peut pas* se calculer comme une machine statique ou quasi statique, que le mouvement introduit sa spécificité propre dans la description des machines, au-delà même des états de transition et du problème de la génération du mouvement.

De l'équilibre au mouvement réside un principe en permettant la correspondance : le "*principe de Descartes pour la mécanique*". Rejouant une séquence historique que nous avons déjà narrée, Bêlidor introduit la quantité de mouvement, produit de la masse et de la vitesse d'un corps, comme mesure de la force de ce corps. Si deux corps ont leurs masses et leurs vitesses en proportionnalité réciproque ($m_1/m_2=v_2/v_1$), alors leurs forces, leurs quantités de mouvement, seront égales. En l'appliquant au levier, et donc à tout ce qui peut s'y réduire, la quantité de mouvement s'hybride avec l'invariant P.v dérivé de la conservation des moments, assimilée elle-même au principe cartésien de la conservation de l'action P.H (la "force à deux dimensions" dont parle Descartes, cf. chapitre 1). Suite à quoi Bêlidor et ses contemporains, à l'image de Pitot, peuvent sans vergogne parler de quantité de mouvement en toute occasion, dans une optique visant clairement à faire de P.v la mesure invariante et universelle de la force.

⁴⁶³ BÊLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, I, I, art. 1 *L'auteur souligne*.

La méthode consiste donc à :

1° passer du principe du levier, autrement dit de l'égalité des moments à l'équilibre (produits des poids par les bras de levier), à la conservation du produit des poids par les "vitesses", c'est-à-dire les chemins réalisés dans un même temps, passage autorisé uniquement par la dépendance géométrique qu'entretiennent entre eux les éléments matériels constitutifs du levier, en s'évertuant d'une part à considérer que le levier en mouvement n'est en somme qu'une suite de leviers statiques et d'autre part à assimiler ce P.v à la quantité d'action P.H cartésienne alors même que Descartes, primo, a toujours réfuté la considération des vitesses comme pertinente et secundo, a toujours eu tendance à considérer son invariant comme qualitativement différent de l'égalité des moments

2° admettre comme invariant la quantité de mouvement m.v, en la considérant comme mesure de la force des corps

3° identifier dans le levier le moment modifié P.v à la quantité de mouvement m.v

4° réduire de la sorte tous les mouvements occasionnés sur ou par la machine, par chocs ou contact, à la conservation d'une quantité P.v étiquetée "quantité de mouvement".

On voit que chacune de ces étapes, et a fortiori l'ensemble, est discutable, tant conceptuellement que physiquement. On a l'impression d'entendre un Descartes dément errant dans un monde où le mouvement, immobile, n'est que perpétuelle tendance.

Mais ça fonctionne.

Au prix d'un certain nombre d'ajustements, sur la vitesse notamment, par exemple en prenant en compte les directions des vitesses par le biais des directions des forces appliquées, ce qui importe pour la conservation des quantités de mouvement. Ou encore en utilisant la vitesse "moyenne" au lieu de la vitesse instantanée, réduisant ainsi les mouvements uniformément accélérés ou retardés à des mouvements de vitesse uniforme, puisqu'un corps uniformément accéléré ou décéléré par la pesanteur a en fin ou début de chute respectivement, le double de la vitesse uniforme qui lui aurait permis de parcourir la même distance dans le même temps.

Ca fonctionne, donc, notamment parce que les liaisons du système assurent l'équivalence mathématique de la mesure des différentes notions, et parce que le mouvement uniforme ne s'émeut guère qu'on l'assimile au repos. Et jusqu'à un certain point seulement, même pour les machines. Cette interprétation de la physique "cartésienne" trouve ses limites, déjà à l'époque de Bélidor, qui ne semble cependant pas conscient du débat sur les forces vives, du moins n'en fait-il pas mention. Cela s'explique en ce qu'il puise la quasi-totalité de

ses sources dans les mémoires de l'Académie Royale des Sciences antérieurs à 1730, l'institution étant jusqu'à cette époque largement dominée par les cartésiens.

La question importante pour nous, est de savoir si on peut alors considérer P.v ou P.H comme un travail quand il est dérivé du moment ? On le peut, sous certaines conditions, qui tendent justement à montrer d'une part que le produit parvient à une autonomie, considéré pour lui-même, comme un concept différent du moment, et d'autre part qu'il ne reste pas un sédiment mathématique inerte mais a une ontologie propre. Ces conditions sont 1° qu'on le considère comme la réalisation d'une potentialité, comme un effet qui consume la source de laquelle il prend vie ; 2° qui advient dans le mouvement, et non dans une statique ou pseudo statique ; 3° qui tend à se détacher des seules liaisons du système. Il n'est pas simple de s'y retrouver dans les différents textes, au vocabulaire changeant suivant les auteurs, les époques, et finissant par désigner tout autre chose par des jeux de similitude et d'analogies pas toujours justifiées. Dans le cas qui nous occupe ici, Bélidor, nous allons voir en quoi P.v répond ou non à ces aspects.

3.C.d.ii LA COLLISION DES BLOCS AMONTONS- PARENT

Le calcul de l'effet est la trame d'une pièce qui voit se produire la collision de deux mondes, de deux approches de la force-pour-mouvoir jusqu'ici distinctes, dont Amontons et Parent représentent les deux champions. On l'a vu, dans la *puissance continue* d'Amontons, antécédent du travail mécanique, la force intervenant à cette occasion est au peson ce que le poids statique est à la balance. Le peson, futur dynamomètre, donne une mesure directe de la force nécessaire au mouvement dans son exercice même, force irréductible au poids déplacé et intégratrice des frottements. Le mouvement en tant qu'il est au moment où il est. L'autre dimension de la force-pour-mouvoir est au cœur de l'approche enfantée par le cerbère Parent, indépendante des frottements. Elle s'exprime d'abord dans l'expérience paradigmatique du mouvement de la roue à aubes communiqué par la force du courant, où la pale, fuyant devant ce dernier, ne peut être frappée qu'avec sa vitesse relative, et non absolue. Une conception nouvelle, qui marque toute la distance entre le comportement de la machine en mouvement de celle à l'équilibre, et impose des procédures d'analyse inédites. La force-pour-mouvoir la machine est, de *par* son mouvement, irréductible à la force pour soutenir. Parent à sa mort était sans doute à deux doigts de faire cohabiter ces deux approches. Il semble improbable à la lecture de ses travaux sur les machines hydrauliques d'une part, et sur les frottements d'autre part, qu'il n'ait pas eu en tête de les mêler. Ce qui aura freiné toute tentative avant sa mort réside peut être dans l'ambition théorique de Parent, et nous formons ici l'hypothèse que

Parent ait pu être à la recherche d'une conception de la force-pour-mouvoir dont la détermination se départisse de la méthode imparfaite d'une succession de deux approches, au profit d'une méta-conception qui intégrât en une unique matrice les deux dimensions du problème. Ambition balayée par une fatale petite vérole. Pitot ne s'intéressera jamais au problème.

Les deux blocs vont enfin collisionner chez Bélidor, certes pas sous le joug d'une théorie mère, mais dans la perspective unifiante du juste calcul machinique. Il débute par le frottement, dans un chapitre affirmé par lui comme "un des plus essentiels" (chapitre II, livre 1, tome 1, partie I) car les précédents auteurs de traités de mathématiques ont eu la coupable attitude d'élaborer des théories sans frottements, laissant à la pratique le soin de les déterminer, sans même donner de règles. Mais Amontons a eu le mérite d'en explorer le premier les mystères par l'expérience et Parent celui d' "essay [er] de traiter ce sujet géométriquement",

"mais par une fatalité ordinaire aux découvertes les plus utiles, qui n'arrivent que rarement à la connoissance de ceux à qui elles seroient le plus nécessaire, il ne paroît pas que les machinistes en ayent fait jusqu'ici aucune application".

Et pour cause :

"il est vrai que ce qu'en dit M. Parent n'est guères à leur portée, ce sont des calculs algébriques à perte de vûë capables de les effrayer au lieu que s'il en avoit déduit des consequences en forme de maximes, on les auroit suivies [...]"⁴⁶⁴

Bélidor modélise alors les frottements en assimilant la surface des matériaux à des demi-sphères contigües, qui engrènent dans les demi-sphères des surfaces adjacentes. Chaque demi-sphère étant, en l'absence de mouvement, enchâssée dans 3 autres demi-sphères, il montre qu'une puissance surmontant effectivement la résistance du frottement sera égale au tiers environ du poids qui la cause, une modélisation qui s'accorde assez bien avec l'expérience. Encore donne-t-il ce rapport d'un tiers comme une limite supérieure, car il est toujours possible de polir les surfaces avec plus de soin ou de les enduire de vieux-oing (c'est-à-dire de la graisse de porc).

L'expérience par laquelle Bélidor a l'idée de passer pour mesurer le frottement avec exactitude, consiste à utiliser non pas le peson, mais le plan incliné. Il mesurera alors le frottement des surfaces par l'inclinaison du plan suffisant à libérer le mouvement du corps, en passant alors par le calcul de la force relative de la pesanteur s'exerçant sur le corps.

⁴⁶⁴ *Ibid.*: I, 1, 70.

L'expérience du plan incliné permet de contourner une disposition de la nature déjà repérée par Amontons lorsqu'on raisonne sur une poulie par exemple. En effet, si l'on admet la résistance du frottement pendant le mouvement comme égale au tiers du poids qui le génère, il ne suffira pas d'ajouter à la force utilisée pour tirer le poids le tiers du poids total pesant sur le pivot : l'ajout d'une telle quantité augmente ce poids total et, conséquemment, la résistance du frottement. Le poids reste immobile, jusqu'à ce qu'enfin, l'ajout de force vienne compenser le tiers du poids total dont elle fait partie. Cette autoréférence trouve mathématiquement sa résolution dans le résultat d'une suite géométrique dont le rapport des termes est de 3 à 1, où la somme de tous les termes qui suivent le premier est égale à la moitié de celui-ci. En d'autres mots, si je veux soulever un poids de 60 livres par une poulie, il me faudra exercer une puissance de 120 livres pour mener mon projet à bien. C'est pourquoi :

Quand l'action d'une puissance se joindra à celle du poids pour en augmenter la pression sur le point d'appui, & que leurs directions seront parallèles, il faut que cette puissance pour être en équilibre avec le frottement seul, soit égale à la moitié de la pression qui soutient l'appui, lorsque la puissance & la surface qui frotte ont la même vitesse⁴⁶⁵

“Pour être en équilibre avec le frottement seul” : toute l'ambiguïté de la tension mouvement/équilibre pourrait résider dans cette formule. En effet, le frottement n'est mesurable précisément qu'en ce qu'il provoque le mouvement. En deçà, l'équilibre n'est pas mesure du frottement, mais constat de l'empêchement de son actualisation. L'équilibre au sens où nous l'a proposé Bélidor au début de son ouvrage, assimilé au repos, n'est donc pas pertinent pour décrire une telle situation. En fait, ce que Bélidor signifie constamment sans jamais l'écrire n'est pas l'équilibre au sens du repos, mais un point de jonction virtuel entre l'immobilité et le mouvement, l'état limite enduit dans l'épaisseur fictive de la frontière entre ce qui va basculer et ce qui vient de basculer.⁴⁶⁶

⁴⁶⁵ *Ibid.*: I, 1, 83, art. 243.

⁴⁶⁶ *La tension s'illustre ailleurs, dans des accents que l'on a déjà rencontré chez La Hire par exemple* : “[...] il faut que la puissance pour être capable d'enlever ce poids soit composée de trois parties ; la première, pour être en équilibre avec le poids ; la seconde, pour surmonter la roideur de la corde, & la troisième pour vaincre le frottement de la poulie contre le boulon” [I, 1, 117, art. 314]. Ou encore : “[...] il n'y a donc que [...] lorsque la vitesse de la roue est moindre que celle du courant, qu'elle sera capable d'élever un poids ; parce qu'une partie de l'action du courant, sera en équilibre avec la pesanteur du poids, tandis que l'autre partie fera mouvoir la roue, & par conséquent monter le poids avec une certaine vitesse” [I, 1, 250, art 597] “Si les colonnes d'eau que refoulent les pistons étoient trop grosses par rapport à leur hauteur, elles opposeroient par leur poids une si grande résistance au courant, que ne lui restant que peu de vitesse après le choc pour faire tourner la roue, l'eau qui doit passer dans le réservoir y montera si lentement, que l'on pourra perdre davantage de la part du tems, que l'on gagnera par l'augmentation du poids [...]”[*Ibid.*] Ainsi, le mouvement est compris comme composé de deux parties, l'une permettant l'équilibre, et l'autre constituant un surplus. La même vision apparaissait chez La Hire en 1702 (cf. supra) lorsqu'il disait que dans l'action d'un rameur, une partie de la force qu'il utilisait était détruite dans l'équilibre, et que le surplus de cette force lui permettait de mouvoir le bateau.

L'effet seuil propre au frottement révèle un autre aspect de la machine. Il existe un coût pour l'obtention du mouvement, un coût exigé par la machine même, qui, à mesure qu'on la nourrit de puissance, en exige un ratio supplémentaire par accroissement subséquent de sa résistance, jusqu'à atteindre le seuil déclencheur de mouvement. La machine est autophage, se nourrissant de son propre mouvement en ce qu'elle l'annihile à mesure qu'on lui en fournit une plus forte tendance puis, une fois mue, qu'elle prend plus de vitesse. Elle consomme sa propre tendance au mouvement comme prix de son mouvement.

Bélidor s'adonne ensuite à d'importants développements sur les frottements dans les engrenages roues/lanternes, assimilés à des leviers coudés, montrant qu'il existe un angle où le rapport poids/puissance sera maximum. Ce plus grand effet est donné par l'angle de 18 degrés et 26 minutes, le rapport étant alors égal à 18/19. S'il existe plusieurs engrenages il faudra alors, pour élever un poids donné, multiplier la puissance qui suffirait pour l'équilibre par 19/18 élevé au degré égal au nombre de roues ou lanternes. Inversement pour obtenir le poids soulevé à partir d'une puissance donnée. De la composition interne de la machine dépendra son efficacité. Ces calculs viennent appuyer un argument essentiel de son propos : que cela permet de désabuser *“le plus grand nombre des machinistes, des merveilles qu'ils croient pouvoir opérer par la répétition des roues & lanternes, en faisant voir dans quelles bornes sont renfermées les avantages qu'on peut tirer d'une machine”*⁴⁶⁷. Conséquence essentielle : les machines les meilleures sont les plus simples. Ce qui peut apparaître comme une évidence ne va pourtant pas de soi à cette époque, ou du moins pas pour les mêmes raisons : *“Je sais bien qu'il n'y a personne qui ne préfère une machine simple à un [sic] autre plus composée qui rempliroit la même fin, parce qu'elle est plus facile à exécuter, d'une moindre dépense, & moins sujette à réparation, mais on ne soupçonne pas qu'elle a encore un autre avantage, qui est de faire réellement plus d'effet”*⁴⁶⁸, effet compris comme “quantité de mouvement”, se traduisant par la possibilité de mouvoir dans le même temps plus de poids. La simplicité de la machine est doublement économique, dans sa construction et dans son effet.

Le frottement, ainsi que la part de la puissance employée à d'autres fins que le seul effet, sont qualifiés de “déchet”, au singulier.⁴⁶⁹ A cela, l'ingénieur ajoute des réflexions et

⁴⁶⁷ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, 1, 109, art. 297.

⁴⁶⁸ *Ibid.*: I, 1, 109, art. 298 Nous soulignons.

⁴⁶⁹ Ainsi, toujours dans ce premier volume : « L'on examine ensuite la résistance causée par le frottement, la manière d'en calculer le déchet dans toutes sortes de cas, pour y avoir égard dans la pratique. Ce sujet est traité à fond, & appliqué à des exemples propres à éclairer insensiblement l'esprit sur les avantages & les défauts de toutes les machines [...]» (Préface, vii); « il reste toujours à l'industrie de celui qui en fait le projet de disposer

expériences sur la résistance des cordages, en droite ligne d'Amontons. Cette résistance, tout comme le frottement, est directement dépendant du poids appliqué à la corde. Elle croît en exacte proportion avec ce poids, ainsi qu'avec le diamètre des cordes, et en proportion inverse des diamètres des rouleaux auxquels elle est enroulée. Si la corde est appliquée à une poulie, il faut alors prendre garde de proportionner la résistance à l'inverse du rayon, et non du diamètre.

Mais il ne suffit pas au praticien de prendre en considération ces calculs théoriques pour faire une bonne machine. Il doit en passer par des considérations toutes pragmatiques qui empêchent bien souvent la perfection d'exister. Par exemple, la théorie ne prend pas en compte la variation de la raideur des cordes en fonction du temps : les neuves sont plus raides que les vieilles. En outre *“les cordes neuves chargées de tout le poids qu'elles peuvent porter sont plus sujettes à se rompre, que lorsqu'on les charge successivement pour les rendre souples”* (I, 1, 219, art. 316). Enfin, au sujet du nombre de dents souhaitables sur les lanternes, il ne faut pas le considérer seulement en raison du développement souhaité, calculable par la théorie: le nombre de dents d'une roue ne doit en outre jamais être un multiple entier du nombre de dents des lanternes, en les rendant donc premiers entre eux (l'unité comme seul commun dénominateur). En effet, une dent doit rencontrer tous les fuseaux afin de s'user de manière similaire à toutes les autres, et de permettre au mouvement d'être le plus uniforme qu'il se puisse. Cette considération, si elle peut et doit être prévue à l'avance, est une exigence de la pratique seule.

Ce premier bloc des frottements et résistances d'inspiration amontonienne vient alors collisionner avec l'approche des machines hydrauliques reprise de Parent, dans le troisième chapitre du livre premier, consacré aux règles de l'hydraulique. On a la surprise d'y voir Bélidor se comporter en disciple orthodoxe de Parent, ne citant de Pitot que son fameux tube. Il ne fait cependant nul doute que Bélidor a lu, et bien lu, Pitot, puisque dans la démonstration du point de plus grande perfection de la machine, il commence, comme Pitot, par calculer la vitesse de la pale, pour en déduire ensuite ses conséquences. Si ce constat est bien entendu trop faible pour inférer la chronologie de sa lecture des deux auteurs, il faut cependant remarquer sa profonde connaissance des textes de Parent, apparemment beaucoup plus

les pièces de façon, qu'en jouant avec aisance il y ait le moins de déchet qu'il est possible de la part des frottemens. » (p.249, art.596.); « voulant comprendre dans le calcul que allons faire le déchet causé par les frottemens, nous commencerons par celui du pivot de la lanterne qui sera sur la crapaudine [...] » (p. 317 art. 686).

susceptible d'intérêt et de compliments mort que vivant. Pour démontrer la vitesse optimale de la pale, Bélidor en passe une représentation graphique simple (Figure 29).

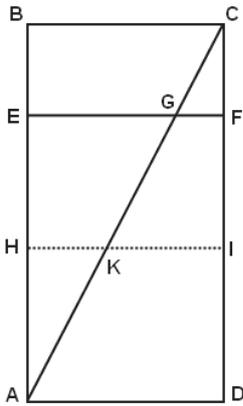


Figure 29 : schéma de Bélidor à propos de la démonstration de la vitesse de plus grand effet d'une roue hydraulique

La largeur du rectangle représente la vitesse entière du courant. Celle-ci peut être séparée en deux parties, en suivant la diagonale CA : ainsi lorsqu'on aura EG pour la vitesse relative du courant sur la pale, GF sera la partie de la vitesse du courant devenant la vitesse de la surface choquée. Le choc de l'eau contre la pale étant donné par EG^2 , il suit que la quantité de mouvement à l'entrée de la machine est définie par $EG^2 \cdot GF$. En prenant K un point fluctuant sur CA, il s'agit de trouver quelles valeurs respectives de HK et KI vont donner le plus grand produit $HK^2 \cdot KI$, en appelant $HI=a$, $KI= x$, $HK= a-x$, ou, pour un calcul encore plus simple (quand on suppose que x est l'inconnue) : $HK= x$, $KI= a-x$. Sans surprise, pour avoir à la fois la plus grande impression et la plus grande vitesse qu'il soit possible de sorte que leur concours réponde à la plus grande quantité de mouvement, il faut et il suffit que la vitesse de la surface choquée soit du tiers de celle du courant.

Bélidor mime les démarches de Parent et Pitot par sa considération des quantités de mouvement inspirées de la mécanique des chocs, mais il se révèle beaucoup plus proche de Parent que de Pitot, en se plaçant entièrement sur l'interface de la pale, point intermédiaire du moteur et de la machine, en déterminant ce que la machine prend de quantité de mouvement au courant de l'eau. Il calcule, tout comme Parent, un rapport, celui de la quantité de mouvement de l'état parfait sur celle de l'état d'équilibre où le poids est seulement soutenu et non mu. La "quantité de mouvement" du courant est donc perçue comme une potentialité, ce à quoi Pitot semblait aveugle en ne raisonnant que sur la quantité de mouvement effective à l'entrée de la machine. La suite, c'est-à-dire le poids effectivement soulevé, n'est qu'une conséquence des dépendances géométriques de la machine, dans le cas idéal (sans les divers frottements et pertes). Bélidor, d'ailleurs, emploie exactement le même vocabulaire que Parent : effet naturel pour qualifier la quantité de mouvement du courant provoquant l'équilibre de la machine, effet général ou effet machinal pour la quantité de mouvement effective à l'entrée de la machine.

Après son calcul, Bélidor remplit trois pages d'arguments sur l'importance de considérer le mouvement relatif de l'eau sur la pale, car il a repéré, si l'on nous permet cet ignoble anachronisme, un obstacle épistémologique majeur :

“Si je me suis un peu étendu sur un sujet qui pouvoit être expliqué en moins d'une page, c'est que mon dessein est d'écrire pour tout le monde ; & que je me suis aperçu qu'il n'étoit point aisé de faire entendre à bien des gens, & même à ceux qui s'imaginent en sçavoir beaucoup, que c'étoit une erreur de conclure que plus une roue avoit autant de vitesse, & plus l'effet de la machine étoit grand”⁴⁷⁰

Au passage, il confie son admiration pour le critique mais perspicace Parent :

“Cette découverte mérite d'être regardée comme une des plus importantes que l'on ait fait [sic] depuis le renouvellement des sciences & des beaux arts; quand tous les travaux de M. Parent n'auroient aboutis [sic] qu'à ce seul objet, il devroit suffire pour le rendre recommandable parmi ceux qui sont touchés du bien public, d'autant mieux qu'elle est le fruit d'un grand nombre de connoissances acquises, & d'une nature à ne rien tenir du hazard : j'avouerai ingénument que la première fois que je la vis dans les mémoires de l'Académie royale des sciences de l'année 1704, j'en fus si frappé que je la regardai comme ce que j'avois appris jusques-là de plus intéressant en mécanique [...]”⁴⁷¹

L'hypothèse à la base de la modélisation de Parent et de ses successeurs est ainsi formulée par Bélidor :

“les roues qui trempent dans l'eau étant accompagnées d'aubes qui se succèdent immédiatement, peuvent être considérées comme une seule surface qui recevoit l'impression du fluide sans interruption”⁴⁷² .

Il montrera un peu plus tard qu'il n'est cependant pas dupe de cette dernière proposition, tout en estimant le meilleur agencement comme étant celui où une seule pale serait frappée par le fluide quand celle-ci se trouverait en position perpendiculaire au courant. Il a en tête une objection tenant à la vitesse de la pale, nécessairement irrégulière : les aubes formant à chaque instant des angles différents avec la verticale, l'impulsion qu'elles reçoivent varie continuellement. Durant le mouvement de la roue au sein du meilleur agencement, les pales passent certes par la plus avantageuse disposition, lorsqu'une pale est en position verticale, mais aussi par la plus désavantageuse, quand deux pales plongées dans l'eau forment avec la verticale un angle égal : de la sorte l'eau, frappant la première de biais, ne choquera pas la seconde puisqu'entièrement recouverte par la précédente. Pour remédier à l'inconvénient, Bélidor propose de baisser la roue de sorte que les bords supérieurs de deux pales supplémentaires baignent dans l'eau, dans le cas le plus désavantageux. Dans cette disposition la force moyenne du courant sera égale aux 11/12 de la plus grande force, pour une roue de 6 aubes.

⁴⁷⁰ BELIDOR, *Architecture hydraulique: I, 1, 251, art. 597* Egalement : “[...] on pensoit même que plus cette vitesse [celle de la pale] seroit grande ; & plus l'effet en seroit avantageux, & ce sentiment paroissoit si naturel qu'on étoit fort éloigné de le croire susceptible d'erreur” (I, 1, 248, art. 592).

⁴⁷¹ *Ibid.*: I, 1, 248, art. 592.

⁴⁷² *Ibid.*

A cela, Bélidor ajoutera quantité de considérations à propos de la poussée de l'eau sur les parois des vaisseaux qui la contiennent, sur les surfaces planes et inclinée, et sur la manière d'estimer le déchet causé par le frottement contre le bord des orifices.

La collision des deux aspects de la force-pour-mouvoir donne alors à voir la première modélisation ayant quelques raisons de prétendre à la prévision et au calcul, même s'il reste beaucoup de chemin à parcourir. C'est bel et bien dans les pages de l'*Architecture Hydraulique* qu'aboutissent 35 ans plus tard les logiques initiées par Amontons et Parent et restées longtemps séparées pour des raisons de difficultés de conceptualisation théorique. Même l'esprit pénétrant de Pitot n'était pas entré dans la considération des frottements. Autrefois impondérable de la matérialité, le "déchet" s'extrait désormais de la fange par une allégeance au calcul, venant revendiquer la perfection des Idées.

3.C.d.iii LE TRAVAIL, LIANT INTEGRAL ENTRE LE PRODUCTEUR, LA MACHINE ET SON PRODUIT

L'effet, ou selon le vocabulaire de Bélidor, la "quantité de mouvement" est le concept nodal autour duquel s'articulent les logiques. Dans les premières pages de l'ouvrage, et même de notre histoire, elle n'est rien de plus qu'un invariant, une propriété de la matière que l'on décline en différentes formules suivant les dépendances géométriques des machines considérées. Mais plus l'ouvrage se poursuit, et plus les considérations théoriques cèdent le pas à l'articulation entre pratique et théorie, plus la "quantité de mouvement" se voit doter des attributs du travail. L'invariance, si elle n'est pas le signe du concept de travail, en est la condition. Ce n'est que sur une invariance que peut se construire une théorie de la prévision. Ce n'est qu'en étant sûr que quelque chose se conserve, que l'on peut construire l'idée d'une différence entre ce qui advient et ce qui devrait advenir, bref un concept d'idéal et conséquemment de rendement. L'idéal, il court dans ces pages, et s'est maintenant nettement distingué de l'idée de perfection de Parent. On l'a vu, chez ce dernier le plus grand effet, l'état parfait, était l'optimum répondant aux contraintes structurelles de la machine, et nullement un maximum atteint par progressif rapprochement de la sortie d'avec l'entrée, par réduction des frottements et déperditions, dont le terme ultime aurait été un rendement de valeur unité. L'intégration des frottements à la théorie permet cette pensée, permet de lui donner corps, au-delà de l'incalculable à-peu-près laissé au hasard des machinistes. La théorie semble alors par ce mouvement de presque 40 années se dégager de la position inconfortable de n'avoir à dire de la matérialité d'une machine qu'une équivalence stérile entre les deux termes d'une application, entrée et sortie, ainsi que d'une pauvre méthode de calcul de "rendement" dont la réalisation ne pouvait se faire qu'*a posteriori* et expérimentalement, en mesurant l'effet

réalisé rapporté à l'effet donné, quand on savait calculer ce dernier. C'est que l'on veut des choses -selon le mot de Fontenelle-, l'effet réel, l'effet calculable, à buts de prévision et d'économie, exigences qui ne se contentent plus des illusions d'un calcul valable dans le vide de l'espace pour des matériaux pétris de quintessence.

Lorsque Bélidor présente à l'article 31 l'invariance de P.v, qu'il appelle principe cartésien pour la mécanique, ce n'est encore qu'un stérile dérivé de l'égalité des moments d'un levier. Cet invariant, parce qu'invariant, est alors convoqué à la définition de ce qu'il importe pour un ingénieur de ce temps de quantifier : un produit donné par un moyen. Ce qui importe ainsi dans les machines élevant de l'eau, par exemple, c'est la quantité d'eau que l'on va élever, la hauteur à laquelle on va l'élever, et le temps que tout cela va prendre. Idem pour une machine à élever des poids. Ce n'est pas sans raison que ces machines ont été les premières à se voir féconder par cet invariant : c'est que la théorie pouvait s'y fondre aisément, du moins tant que l'on fermait les yeux sur les frottements et que l'on s'évertuait à croire qu'une machine en équilibre équivalait une machine en mouvement. Les choses deviennent plus complexes à mesure que le produit réalisé ne s'apparente pas de manière évidente à un poids élevé, et que l'agent moteur s'éloigne d'être une force de contact appliquant à l'entrée de la machine la même vitesse dont il se meut lui-même. En ce qui concerne le moteur, les courants d'eau présentent ainsi une difficulté, que l'on tend à résoudre dès avec Parent. Idem du vent, qu'on s'imagine pouvoir réduire à n'être que de l'eau munie d'un quelconque facteur de multiplication. Le feu présente des difficultés spécifiques considérables, et échappera longtemps à une détermination théorique, jusqu'à ce que les expérimentateurs mettent progressivement sur pied une théorie qui deviendra notre thermodynamique. Mais du côté du produit également résident des difficultés, qui expliquent que certaines machines soient restées longtemps dans le règne de l'empirisme. Comment ainsi calculer la quantité de farine d'un moulin d'après tout ces beaux calculs ? Le génial Bélidor va apporter une réponse à cette dernière question. Mais n'allons pas trop vite.

C'est une fois appliqué aux cas concrets des machines, et des machines en mouvement, que l'invariant P.v se voit investi d'une autre signification, fortement chargée du soufre de l'industrie. Par son caractère invariant, il devient le liant entre les divers éléments de la machine, il lie non plus la seule pureté des effets sans trace, mais toute la matérialité de la machine, pales, cordes, poulies, rouleaux, lanternes, fuseaux, sous ses acceptions de "puissance" (force), mouvement, frottement, résistance, raideur, tension, pression... La somme de tous ces effets, calculable, doit redonner la valeur de l'effet initial généré à l'entrée. Il est aussi le liant entre l'effet de la machine et l'effet de ce qu'on appelle déjà le "moteur" :

la force de l'eau, du vent, des animaux, des hommes. Une certaine part de la quantité de mouvement disponible va être utilisée par la machine, une certaine part seulement. Le rapprochement de l'invariant P.v d'un effet conçu comme travail d'un moteur permet de penser cette "quantité de mouvement" en termes de potentialité et donc de rendement : entre l'effet du moteur et l'effet de la machine, le second doit tendre à être une transformation intégrale du premier, dans un contexte axé depuis l'entre deux siècles à tout maximiser du fait d'une pression productive toujours croissante :

Par exemple, s'il étoit question de faire mouvoir des pistons de pompe pour élever de l'eau dans un réservoir, afin de la distribuer aux fontaines d'une ville, ou pour tout autre usage; la fin qu'on doit se proposer est d'en procurer avec une puissance limitée la plus grande quantité qu'il est possible dans un temps limité; ce qui dépend non seulement de la grosseur des corps de pompe, ou des colonnes d'eau qui passeront dans le réservoir, mais encore de la vitesse avec laquelle elles y seront élevées, par conséquent de la plus grande quantité de mouvement du poids, qui est icy celui de l'eau même, qui ne pouvant égaler la quantité de mouvement de la puissance, tout ce que l'on peut faire de mieux, c'est qu'elle en approche le plus qu'il est possible [...]⁴⁷³.

Ou encore :

L'effet machinal a donc nécessairement pour borne l'effet naturel de la puissance qui meut la machine, puisqu'il est impossible de tirer du néant une nouvelle force⁴⁷⁴

Mais l'effet du moteur de référence reste le travail de l'homme. C'est le premier analysé par Bélidor :

Il suit que *l'effet d'une machine mue par un homme ne peut jamais être au-dessus de l'effet naturel, c'est-à-dire au-dessus du produit de mille toises en une heure par 25 livres*⁴⁷⁵

Et immédiatement après, viennent les chevaux, dont il estime par l'expérience commune que 7 hommes équivalent à un cheval pour pousser en avant. Ainsi, après avoir nommé Sauveur et ses expériences, il énonce :

Quelque art qu'on employe à composer une machine mue par un cheval, son effet sera toujours moindre à cause des frottemens, que le produit de 170 livres par 1800 toises de vitesse en un [sic] heure, puisque ce produit limite nécessairement la quantité de mouvement du poids⁴⁷⁶

Et il ajoute ses propres expériences, ne pouvant se contenter de la bonne foi des maîtres : pour un travail de 2 heures et demi ou 3 heures de suite, un cheval ordinaire peut aller à 2000 toises par heure pour le dernier poids cité.

Voilà bien tout l'intérêt de P.v, qui, s'il avait eu le mauvais goût de n'être qu'un invariant auquel l'activité des hommes au travail eût été irréductible, n'aurait jamais servi de support à une notion de travail mécanique ou du moins certains de ses antécédents. C'est du

⁴⁷³ *Ibid.*: I, 1, 109-110, art. 298.

⁴⁷⁴ *Ibid.*: I, 1, 44, art. 122.

⁴⁷⁵ *Ibid.* Bélidor souligne.

⁴⁷⁶ *Ibid.*: I, 1, 45, art. 124.

fait que collent à la machine les mains de l'homme, que les cordes enserrant ses hanches et ses épaules, qu'il *travaille* à mouvoir la machine, que la machine à son tour va *travailler* et que P.v deviendra le support mathématique de cette notion anthropomorphique et industrielle qu'est le travail mécanique. *P.v lie l'homme au travail à la machine en mouvement*. Et nous allons voir bientôt que chez Bélidor, dans un crescendo à l'apothéose brillante, la machine va se voir revêtir par un jeu d'analogies tous les attributs de l'humain et de l'humain au travail.

Mais le tableau est encore incomplet, car il lui manque sa fin, son produit. Rien de plus simple, comme on l'a dit, pour les machines qui élèvent des poids. L'effet machinal est alors le produit en propre. Mais existe un cortège de machines laborieuses dont le produit n'est pas si évidemment lié à l'effet machinal. Tout le jeu ici consistera, par la théorie ou à défaut par l'expérience, à ramener le premier au second. On conçoit d'emblée le problème : si on ne peut calculer que l'effet du mécanisme, sans arriver à déterminer la quantité de produit correspondant à la quantité de mouvement, alors rien ne nous dira que le rapport (quantité de produit) / (quantité de travail fourni) en un temps donné, sera optimal. Horreur. L'esprit de calcul ne tient ses promesses que s'il a la connaissance de tous les éléments de la chaîne. Prenons ainsi un moulin à farine, l'une des plus belles victoires de Bélidor, et c'est sans doute pourquoi on la trouve traitée en premier, au début du second livre du premier tome de la première partie.

L'organe producteur du moulin à moudre la farine, en bout de chaîne du mécanisme activé ici par la force de l'eau, est constitué par une lourde meule. Ou plutôt de deux. Une meule gisante, donc immobile, et au-dessus d'elle une meule tournante. Cette meule tournante, activée par le mécanisme, repose en son centre sur une pièce de bois intégrée à la structure de la meule gisante. La surface supérieure de la meule gisante est de forme très légèrement conique, de sorte donc que le centre de cette meule soit plus haut que ses bords. A l'inverse, l'intérieur de la meule tournante est évidé, de sorte à avoir également une forme conique renversée. Néanmoins l'inclinaison n'est pas exactement la même que celle du cône de la meule gisante, si bien que l'espace ménagé entre la gisante et la tournante, est un peu plus grand entre les centres des deux meules qu'entre les bords de ces meules. De la sorte, introduisant le blé par en dessus, au centre des meules, par des orifices judicieusement créés, il tombe entre les deux meules et le mouvement de la supérieure l'entraîne vers la périphérie par force centrifuge. Là, vers les deux tiers du rayon des meules, le blé commence à se rompre du fait de la pression exercée par la meule tournante. Bélidor observe attentivement une meule et constate qu'en fait l'axe de rotation de la meule tournante ne reste pas parfaitement vertical, mais a de très légers mouvements de basculement de droite et de gauche, favorisant

l'écrasement des grains jusqu'à la périphérie. Tout l'art de Bélidor, bien sûr, va être dans un premier temps, de calculer le poids effectivement déplacé par le mécanisme, et donc quel poids doit être compté pour la meule tournante, qui est très loin d'égaliser son poids absolu au vu de sa disposition, ce à quoi il faudra ajouter les résistances et les nombreux frottements.

Alors,

Comme c'est le mouvement circulaire de la meule qui fait tomber le bled de la trémie par intervalle & avec une vitesse qui dépend de celle de la meule, il succède d'autres grains qui la soulevent tout de nouveau, & la farine qui vient d'être faite cessant d'être pressée est emportée dans le *Blutoir* par la circulation de l'air que la meule met en mouvement, & qui forme un tourbillon dans le tonneau : or puisque ce sont les deux mouvements que je viens d'expliquer qui concourent à moudre le bled, je conclus que *les effets de deux meules différentes sont dans la raison composée de leurs vitesses & de leur pesanteur*, & qu'en général les mêmes effets seroient beaucoup moindres, si les pivots de ces meules, au lieu de reposer sur une pièce à ressort, avoient un appui inébranlable [...]⁴⁷⁷

La quantité de farine étant donc proportionnelle à la quantité de mouvement servant au broyage du blé, il manque une expérience pour fonder le coefficient de cette proportionnalité :

Un moulin tel que celui dont nous venons de faire le calcul, qui a une meule mobile de 6 pieds de diamètre du poids d'environ 4348 lb, & qui fait 53 tours par minute, peut moudre en 24 heures 120 septiers de bled du poids de 75 lb chacun, quand la meule est nouvellement piquée & qu'elle est de bonne qualité : circonstance qui entre pour beaucoup dans le plus ou moins de farine qu'on peut faire, l'expérience faisant voir que les plus dures & les plus *spongieuses* sont préférables aux autres ; cependant, comme dans une théorie telle que je l'ai établie ici, on ne peut se dispenser de faire abstraction des accidens, nous supposons dans la suite que les meules dont il sera question seront à peu près de même nature que celle sur laquelle j'ai fait mes observations, parce que tout bien considéré, quand cela ne se rencontrerait pas absolument de même, la chose ne peut pas tirer à conséquence dans l'application que l'on fera de nos principes.⁴⁷⁸

A la fin de ce chapitre (I), il examine de même un cas de moulin à bras, toujours pour moudre la farine, et un autre mu par un cheval. Il calcule de même la quantité de farine produite par la proportionnalité avec la quantité de mouvement de la meule et sur le pied de son expérience précédente. Il note :

“& ce qui me satisfait le plus est de voir que toute la théorie sur laquelle j'ay fondé les calculs précédens se trouve conforme à l'expérience”⁴⁷⁹

Emporté par son habitus d'ingénieur, il calcule alors non seulement le produit du moulin à cheval donné (44 *septiers*) mais donne aussi le moyen de connaître le nombre de ces moulins nécessaire dans une forteresse en temps de siège, selon la consommation de blé de chaque homme. En effet, très au fait de ces choses, il sait que les “*entrepreneurs de vivre ont*

⁴⁷⁷ *Ibid.*: I, 2, 280, art. 638.

⁴⁷⁸ *Ibid.*: I, 2, 293, art. 656 Bélidor souligne. Le fait de piquer une meule consiste à créer un relief sur la surface intérieure de la meule tournante. Il faut repiquer une meule régulièrement, mais ceci occasionne une diminution progressive de la masse de la meule, jusqu'à ce qu'elle devienne trop légère. Il faut de 35 à 40 ans, selon Bélidor, pour atteindre ce niveau. Alors, la meule tournante est transformée en une gisante.

⁴⁷⁹ *Ibid.*: I, 2, 314, art. 681.

*pour règle qu'un sac de farine pesant 200 lb suffit pour la subsistance d'un soldat pendant 6 mois, en lui donnant la ration simple*⁴⁸⁰.

Ainsi, dès l'issue de cette première application de la théorie au cas des moulins à moudre, il ne fait pas de doute que *P.v* au sens de Bélidor, la "quantité de mouvement", s'avère bien être un antécédent du concept de travail mécanique, dans une veine qu'on retrouvera à l'identique chez Navier ou Coriolis. La "quantité de mouvement", donc, s'avère être une mesure d'un effet qui puise dans la disponibilité d'une potentialité, et énoncée clairement en termes de rendement. En outre, la réalisation de cet effet a un coût, le fameux déchet, qui recouvre au final tout ce pour quoi la force a été employée pour autre chose que son produit. Qui plus est l'effet machinal est rapproché de son produit, soit parce qu'ils sont identiques (machines à élever des poids ou de l'eau), soit parce que le produit est en proportion de cet effet. En outre, la gangue industrielle du concept de "quantité de mouvement" tel que Bélidor l'utilise est indéniable, tenant d'une part à son rattachement à la production, et d'autre part à un esprit d'optimum, d'allocation optimale de ressource limitée. Ainsi par une double extension depuis la machine vers le moteur et surtout vers le produit, *P.v* se détache des dépendances strictement géométriques de la machine. Il n'est pas un autre nom du moment, il est le liant intégral entre le producteur, la machine et son produit, synthétisant en un seul concept mécanique, le travail, toute la réalité des éléments productifs.

Il n'est pas étonnant, à la lecture que nous venons de faire, que Navier ait réédité Bélidor, muni d'un appareil de notes, ni que cet ouvrage ait exercé une telle fascination dans les esprits des ingénieurs savants du début du 19^e siècle à qui l'on doit l'émergence officielle du concept de travail mécanique. Il y a déjà tous les ingrédients chez un Bélidor revendiquant ouvertement son double héritage envers Amontons et Parent, ainsi qu'envers un certain état d'esprit fortement représenté dans l'entre-deux-siècles, et au-delà, à l'Académie, et qu'on a qualifié ici de technologique.

Il faut noter au passage le fait que Bélidor raisonne plus en termes de puissance que de travail, au sens moderne de ces termes, bien que le passage de l'un à l'autre soit facile par considération d'une durée donnée. Cela est lié bien sûr aux dimensions de l'invariant choisi, *P.v*, mais il est intéressant de remarquer que d'un point de vue économique, *P.v* a précisément plus de sens que *P.H*. Il importe en effet de savoir non seulement quelle quantité de produit va être réalisée, mais également en combien de temps. Cela importe d'autant plus quand on ne dispose que d'un temps limité pour accomplir un ouvrage. En outre, si on emploie des

⁴⁸⁰ *Ibid.*: I, 2, 319, art. 687.

hommes par exemple, la stricte équivalence des produits P.v n'est pas assurée, car la physiologie des ouvriers entre en jeu, et la fatigue n'est pas la même pour qui élève 1 livre à 20 pieds par seconde, ou 20 livres à 1 pied par seconde.

Mais ce liant ne serait pas grand chose si Bélidor ne l'appliquait qu'à des machines en équilibre. Il y a deux aspects à voir ici : 1° le fait que l'on s'intéresse à la machine en mouvement, 2° le fait que ce mouvement soit irréductible à une suite d'états d'équilibre. Pour l'ingénieur, le point 1 fait en effet toute la différence :

Quand il s'agit d'élever des corps solides d'une extrême pesanteur, on a raison d'emprunter le secours des machines composées pour diminuer le nombre des hommes ou des animaux, sans se mettre en peine du tems qu'il faudra de plus, pour n'avoir égard qu'à la facilité d'exécuter une chose d'une manière plutôt que de l'autre, & c'est ce qui a rendu le *cric*, la *chèvre*, la *grüe*, &c. d'un usage si commun; mais comme ce ne sont point les machines de cette espèce que nous avons en vûe, mais bien celles que l'on peut mettre en usage pour élever de l'eau ; c'est dans ce cas où il faut faire en sorte que la quantité de mouvement du poids approche de plus près qu'il est possible d'égaliser celle de la puissance ; car l'égalité parfaite de ces deux grandeurs ne peut avoir lieu qu'autant qu'on fait abstraction des frottemens & des autres obstacles inséparables de la pratique[...] ⁴⁸¹

La machine ponctuelle répond à d'autres logiques que la machine permanente. La commodité s'oppose au temps qui, lui, en appelle à l'heuristique du travail via la "quantité de mouvement", seul à pouvoir l'intégrer dans son raisonnement. L'utilisation de la "quantité de mouvement" trouve donc en partie sa raison d'être dans la dimension économique de l'élément temporel. Le calcul du travail n'a de sens qu'en ce qu'il concerne les machines en mouvement, les machines permanentes.

Le second point est largement illustré par la problématique parentienne : l'intervention de la vitesse, du mouvement, métamorphose l'appréhension du calcul de la machine. Mais d'autres effets de la vitesse se font sentir sur la force pour mouvoir, comme, par exemple, dans l'utilisation des cordes. On l'a dit, la corde exerce par sa raideur une résistance qu'il faut surmonter, et qui dépend en partie du poids qu'elle meut. Mais il faut prendre garde également que "*la roideur des cordes sera d'autant plus grande, qu'elles seront obligés de plier plus vite*"⁴⁸². La vitesse a donc un effet rétrograde sur la résistance qui elle-même influence la vitesse des poids mus par cette corde. Bélidor ne peut caractériser clairement cette interdépendance au-delà d'une mention qui fait de la pratique la dépositaire de cette difficulté. Mais il en mentionne l'existence, ce qui peut être perçu comme un nouvel objet offert à la sagacité des théoriciens.

Un autre exemple vient nous montrer la parfaite conscience qu'a Bélidor de la différence entre une machine en fonctionnement et une machine à l'équilibre. Il s'agit des

⁴⁸¹ *Ibid.*: I, 1, 109, art. 297 *Bélidor souligné*

⁴⁸² *Ibid.*: I, 1, 119, art. 316

pompes, pour lesquelles il écrit un véritable traité dans le second tome de la première partie (I, 2). Il semble qu'il s'agisse là du premier traité complet donné au public, Parent n'ayant jamais fait imprimer le sien, pour des raisons qui nous échappent, alors même que l'Académie l'examina et l'approuva en 1700. Bélidor s'en étonne par une expression dénotant sa fine connaissance des textes du bouillant académicien :

cet auteur [n'avait] pas coutume de laisser reposer ses écrits long-tems, il travailloit rapidement, & faisoit imprimer de même, ce qui est cause que ses ouvrages quoique très-bons, & presque tous originaux sont un peu négligés⁴⁸³

Parent se contenta d'en donner un extrait dans ses *Recherches* dont on a précédemment entretenu le lecteur. Bélidor reproduit les huit problèmes constituant l'extrait, donnés par Parent à l'intelligence des savants de son temps "*comme du moins aussi dignes de leur application, qu'aucun problème de géométrie seche, ou d'algebre pure qui les ait occupé jusqu'ici*"⁴⁸⁴ indique l'ingénieur paraphrasant Parent. Las ! "*ils n'ont piqués l'attention de personne, n'en ayant trouvé la solution en nul endroit*"⁴⁸⁵. Ceci confirme que Parent fut très peu lu. Au passage, Bélidor s'autorise une petite pique, à propos de la méthode employée par Parent dans ces problèmes, ce dernier proposant les résultats numériques des dits problèmes afin de créer l'émulation du lecteur à en découvrir les lois littérales :

Je ne sçais sur quoi il a voulu fonder la fausse gloire de n'être entendu de personne ; ce n'est qu'aux demi-sçavants à qui il appartient d'en user ainsi pour se faire admirer du vulgaire, le profond sçavoir de M. Parent étoit assez connu pour ne pas recourir à des finesses si peu dignes de lui, quelquefois le hazard fait découvrir une méthode que les plus habiles gens chercheront en vain, sans que pour cela ils perdent rien de leur superiorité⁴⁸⁶

Si l'on suit l'hypothèse développée ici, faut-il conclure que Parent aurait empêché l'impression de son ouvrage du fait d'une incapacité à rattacher sa théorie des pompes au reste de sa physique, n'en devant la justesse qu'à un hasard ? Rien ne nous permet de le conclure, et l'on pourrait tout aussi bien arguer que Parent a très vite constaté les limites et erreurs de sa théorie, se promettant alors de le réécrire sans jamais y réussir ou trouver le temps. Quoiqu'il en soit, Bélidor examine ces huit problèmes, dont les trois premiers attirent plus simplement son attention, l'un d'entre eux décrivant une pompe parfaite, que Bélidor dit avoir vu exécutée chez un fondeur à Paris⁴⁸⁷, ce qui montre que Parent a eu une influence sur la pratique même : il était donc en lien avec les praticiens, et son objet visait à réformer les errements des artisans. Nous soulignons ce point, loin d'être anecdotique. On a ainsi pu arguer (Briggs par

⁴⁸³ *Ibid.*: I, 2, 91, art. 918.

⁴⁸⁴ *Ibid.*: I, 2, 91-92, art. 918.

⁴⁸⁵ *Ibid.* p. 92.

⁴⁸⁶ *Ibid.*

⁴⁸⁷ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, 2, 103, art. 942.

exemple⁴⁸⁸) que l'Académie n'avait eu presque aucune influence sur la pratique avant 1720 ou 1730, la théorie étant trop insuffisante pour faire naître des réformes dans l'industrie et l'artisanat. Ce jugement nous semble excessif, et largement lié au corpus de recherche. Si l'on s'en tient aux textes de l'Académie et à ce que l'on connaît des grandes manufactures royales, on peut sans doute tirer une telle conclusion, mais c'est se rendre aveugle à toute une pratique de la science au sein de l'Académie, dont l'ambition technologique n'était pas purement idéale mais visait bien à réformer les pratiques, ce qu'elle fit effectivement, comme on s'en rend compte ici. Parent lui même dira qu'il a construit une pompe au Plessis Belleville répondant aux critères de sa pompe parfaite. Mais pouvoir jauger l'influence des activités de l'Académie sur la pratique demande une recherche longue, ingrate, appelant à une exhaustivité de lecture des œuvres de chaque académicien, imprimées et manuscrites, nécessitant une recherche en archives à laquelle on adjoindra une recherche sur la vie personnelle afin d'avoir une chance de retrouver les différents contrats qu'il a pu passer devant notaire au sujet de machines réalisées. Il faut se garder en outre d'avoir une vision de la technologie comme n'étant qu'une application d'une théorie indépendante de la matérialité, celle-ci influençant celle-là au moins autant que l'inverse. L'exemple du fameux pont de Moulins (1707) exploré par La Hire⁴⁸⁹ entre deux observations d'éclipses est l'un des nombreux exemples qu'on peut en donner. Mais revenons à notre objet après cette légère digression.

Dans ce chapitre en forme de traité donc, Bélidor repère un point excessivement important qui a empêché jusqu'ici que les pompes ne donnent toute l'eau dont elles devraient pourtant être capables. Le point principal réside dans les soupapes, notamment les soupapes dites à coquille.



Figure 30 : Schéma de principe de fonctionnement d'une pompe à piston à clapets

Chacun connaît le fonctionnement d'une pompe. Celles présentées par Bélidor sont à piston et à clapet. La plus simple d'entre elle s'apparente à celle de la Figure 30. L'entraînement du piston vers le haut par la force motrice provoque un vide que l'eau du tuyau situé sous le corps de pompe

⁴⁸⁸ BRIGGS, "The Académie Royale des Sciences and the Pursuit of Utility".

⁴⁸⁹ Ceci donna l'occasion de publier : LA HIRE, GABRIEL PHILIPPE DE, "Machine pour retenir la rouë qui sert à élever le mouton pour battre les pilotis dans la construction des ponts, des quais, & autres ouvrages de cette nature", HMARS, 1707, M, 188-192.

vient combler. Le passage de l'eau du tuyau au corps de pompe est permis par une soupape, ou clapet, qui ne s'ouvre que lorsque l'eau a un mouvement ascendant, du fait de la pression même de l'eau. C'est la pression atmosphérique, régnant à l'extérieur de la machine et pressant sur l'eau du bassin dans laquelle la pompe puise, qui pousse l'eau vers le haut dans le vide du corps de pompe (Figure 31).

Figure 31 : Hauteur maximale de colonne d'eau soutenue par la pression atmosphérique (image libre de droits)

Une fois arrivé au sommet de sa course, le piston redescend, provoquant simultanément la fermeture de la soupape inférieure, et l'ouverture de celle qu'il porte lui même. Le piston arrive ainsi, en fin de course descendante, au niveau de la soupape inférieure. Par un

nouveau mouvement ascendant, l'eau maintenant au dessus du piston, va se déverser hors du corps de pompe, tandis que se crée un nouveau vide entraînant avec lui l'eau du tuyau inférieur, etc. Bélidor expose et analyse quantités de pompes qu'il serait intéressant mais hors de propos de relater ici en dehors de ce schéma de principe. Le problème de telles pompes, donc, en tout cas le problème principal repéré par Bélidor, vient de ce que les soupapes ont souvent un diamètre notablement inférieur à celui du corps de pompe, tout comme d'ailleurs le diamètre des tuyaux attachés au corps de pompe, par exemple celui qui refoule l'eau au-

dessus de l'extrémité supérieur du piston (quand il existe, ce qui n'est pas le cas de notre précédente figure). Cette différence de diamètre contraint l'eau à avoir plus de vitesse si l'on en veut conserver le débit.

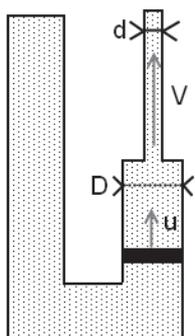
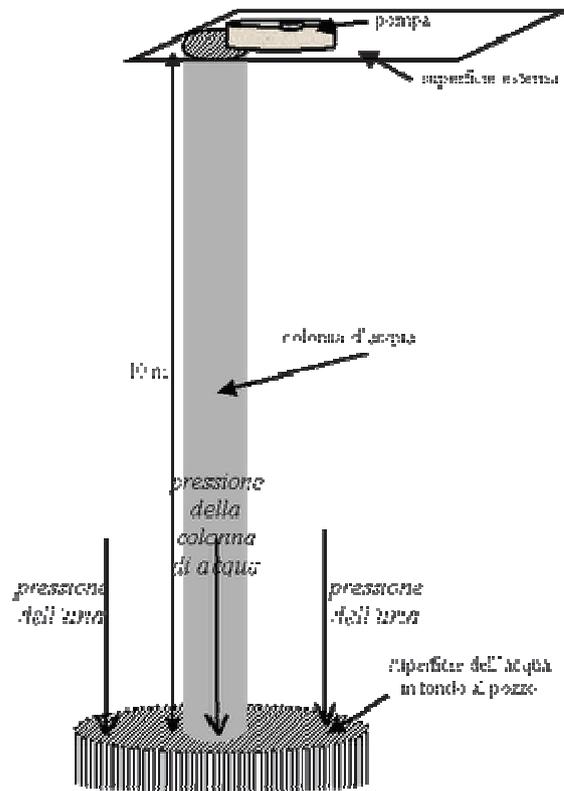


Figure 32 : Corps de pompe rattaché à un tuyau montant d'un diamètre inférieur



Si l'on se réfère à la Figure 32, reproduction de l'une de celles de Bélidor, et représentant un corps de pompe et son tuyau montant, D représente le diamètre du corps de pompe, u la vitesse du piston et de l'eau qu'il pousse, d le diamètre du tuyau montant, et V la vitesse de l'eau dans le tuyau montant. On peut montrer simplement, conservation du débit oblige, que $D^2/d^2 = V/u$. Or la résistance occasionnée par l'eau est proportionnelle au carré de sa vitesse. Si bien qu'en appelant f la force qu'il faudrait pour faire monter l'eau dans un tuyau de même grosseur que D qui serait en lieu et place du tuyau montant, et F la force qu'il faudrait à la "puissance" qui refoule l'eau dans le petit tuyau, il vient : $F/f = V^2/u^2$. Il suit donc : $F/f = D^4/d^4$. Ceci signifie que :

"lorsqu'on aura deux tuyaux montans d'égale hauteur, unis à des corps de pompes de même calibre, le premier de ces tuyaux d'un diamètre égal à celui du piston, & l'autre d'un diamètre plus petit, il faudra que les forces employées pour faire monter une égale quantité d'eau dans le même tems, soient dans la raison réciproque des quarrés quarrés, ou des quatrièmes puissances des diamètres des tuyaux montans"⁴⁹⁰

Conséquemment si la "puissance" reste la même,

les tems qu'il lui faudra dans ces deux cas pour faire faire le même chemin au piston, seront dans la raison réciproque des quarrés des diamètres des tuyaux montans & du corps de pompe⁴⁹¹

Le raisonnement s'applique de même pour les soupapes à coquilles, et pour obtenir une même quantité d'eau :

[...] lorsqu'une même puissance refoule de l'eau par des soupapes de différentes grosseurs, les tems de la levée du piston sont dans la raison des quarrés des diamètres des soupapes⁴⁹²

Ceci a donc des conséquences extrêmement déplaisantes sur le rendement d'une pompe. Encore une fois, le mouvement est l'acteur de cette différence, et Bélidor le note explicitement :

Si l'on ne s'est point aperçû plus tôt de l'inconvénient de faire passer l'eau par certains endroits avec plus de vitesse que n'en a le piston, cela vient de ce que *le plus grand nombre des machinistes, font leur calcul dans l'état d'équilibre*, pour diminuer ensuite le poids d'une certaine quantité prise au hasard, sans se mettre en peine de la vitesse qui peut lui convenir. La plupart même ne font cette diminution que pour avoir égard aux frottemens, quoique ce soit un objet entièrement séparé du précédent.⁴⁹³

Le mouvement a d'autant plus d'importance dans les pompes mues par des roues à aubes, comme celles du Pont de Notre-Dame, pour lequel il est mandé par le Prévôt des marchands et les échevins de la ville de Paris, d'un projet d'amélioration à fin de fournir une

⁴⁹⁰ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, 2, 79-80, art. 903.

⁴⁹¹ *Ibid.*: I, 2, 80, art. 904.

⁴⁹² *Ibid.*: I, 2, 126-127, art. 964.

⁴⁹³ *Ibid.*: I, 2, 127, art. 965 Nous soulignons.

plus grande quantité d'eau à la ville dont les besoins s'accroissent. Il y faudra en effet tenir compte de la vitesse du piston pour déterminer quelle force pourra être appliquée à l'entrée, dans la démarche reprise de Parent. Non seulement le rendement en est altéré, mais pire encore c'est la structure même de la machine qui s'affaiblit, car engoncer une énorme pression dans un tuyau risque tout simplement de le faire crever. Dans l'état où Bélidor trouve la machine de Notre-Dame, les pistons

[...] doivent faire un grand effort, & même pousser de bas en haut les corps de pompes avec beaucoup de violence, & aussi voit-on toutes les parties de la machine prêtes à fléchir, parce qu'une bonne partie de l'action du courant est employée à la destruction de la machine même ; [...]⁴⁹⁴

Ainsi, plus nombreux sont les obstacles à la libre circulation du fluide, plus le produit répondant au travail sera faible, plus le système tendra à l'effondrement. La machine, sous le joug des obstacles, fruit d'une démarche non éclairée de la connaissance de la légalité matérielle, se détruit elle-même. La simplicité du mécanisme, précédemment soulignée, doit se combiner avec la facilité de la circulation. Ainsi, avec moins, on produit plus. *Less is more*.

Il se dessine au fil des pages de *l'Architecture Hydraulique* une véritable monstruosité pour un esprit gorgé de statique : l'interdépendance totale de toutes les parties de la machine en mouvement, et non seulement en proportionnalité simple, mais encore au carré, voire à la quatrième puissance. On ne peut rien toucher sans qu'aussitôt le reste n'en soit affecté. Cette interdépendance totale, il faut bien l'avouer, Bélidor l'appréhende souvent avec difficulté, en bien des occasions. Il se contente souvent d'analyser les choses par fixation d'un paramètre pour en déterminer ses conséquences, raisonnant donc dans un schème d'équilibre alors même qu'il a conscience de son insuffisance. Il privilégie ainsi comme point de départ l'état parfait, quand existe des roues à aubes notamment, pour en déduire derrière les proportions à donner à la machine en tâchant de prendre en compte tous les irréductibles obstacles et frottements. C'est qu'il se joue une contradiction interne, entre des outils inspirés de la statique dont l'utilisation passe nécessairement par un aménagement de la réalité, et la machine, qui fait chèrement payer toute irrégularité en puissance deux, trois, ou quatre, de ses causes. Même les cas les plus simples nécessitent qu'on les aménage. Ainsi en est-il d'une "manivelle" qui élèverait et abaisserait un poids, telle que sur la Figure 33. Ce mécanisme peut être utilisé dans tous les cas où l'on a besoin de transformer un mouvement circulaire en un rectiligne.

⁴⁹⁴ *Ibid.*: I, 2, 214, art. 1120.

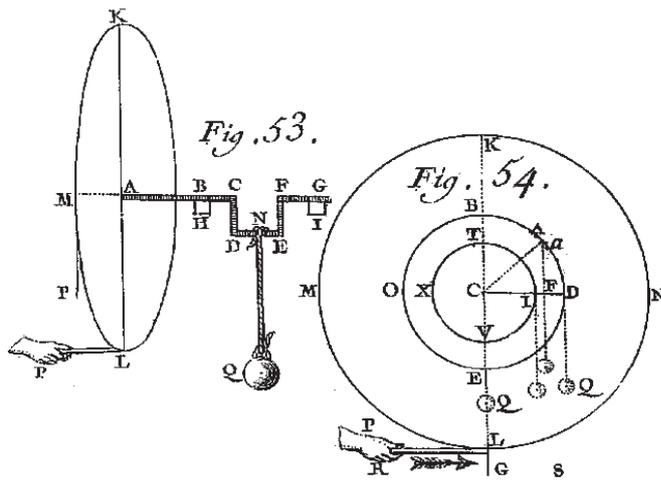


Figure 33 : “Manivelle” décrite par Bélidor, dans la planche 4 du chap.1 du tome I, 2 de l’*Architecture Hydraulique*

On voit ici clairement, avec au point L une force P constamment perpendiculaire au bras de la manivelle, dont le moment équilibrerait constamment celui du poids Q à mesure de son mouvement, que cette force P variera en fonction du bras de levier CF, projection de CA sur l’axe horizontal. Si on remplace la force P par la force d’un courant, le moment du poids Q surmonté variera suivant sa position, donc la vitesse du point D où pend le poids Q. Dans l’article 109 du tome I,1 (p.36), Bélidor énonce alors que si un courant agit, *“la roüe tournera doucement d’abord & à mesure que le poids montera ; la ligne CF allant toujours diminuant, le courant trouvant moins d’obstacle à surmonter donnera à la roüe une vitesse qui ira toujours en croissant, à mesure que la résistance du poids deviendra moindre ; ainsi l’on voit que ce poids montera de la hauteur CB en moins de tems que s’il avoit toujours eu une vitesse uniforme, égale à celle qu’il auroit en partant de D”*. Ainsi il suppose que le point d’attache du poids va accélérer puis décélérer successivement, et que l’on peut assimiler cette situation à celle au cas où Q agirait de manière constante à la manière d’un treuil virtuel TXVI dont le rayon se calcule par moyenne de tous les moments du poids, c’est-à-dire les 2/3 du rayon initial. Dès lors à ce rayon moyen correspond une action moyenne F du courant, et c’est sur cette base que se font les calculs. Mais cette méthode suppose que l’accélération et la décélération de la roue soit uniforme, et Bélidor ne le démontre pas et il n’est pas évident que ce soit le cas, la vitesse de la roue dépendant à la fois du moment que Q exerce et du carré de la différence de la vitesse d’impact (dépendante elle-même de la vitesse de la roue).

Par ailleurs, quand bien même le mouvement soit uniformément accéléré et décéléré, et ainsi réductible à des mouvements uniformes, il survient d’autres problèmes. Ainsi, dans une roue à aubes, on ne sera assuré d’obtenir l’optimum d’effet que lorsque la roue aura le tiers de la vitesse du courant, et donc le poids soulevé les 4/9 du poids d’équilibre (du moins si l’on considère comme exacte la théorie de Parent, ce qu’elle n’est pas). Dans un

mouvement accéléré ou décéléré, il est alors évident que la vitesse de la roue ne sera que périodiquement égale au tiers de celle du courant. Plus vite ou moins vite, et la quantité de mouvement générée ne sera pas optimale. Dès lors, que penser d'un poids soulevé, comme dans le cas de manivelle susmentionnée, qu'on assimilerait à un treuil de rayon moyen, dont la vitesse moyenne provoque une vitesse moyenne de la roue qui serait égale à un tiers de celle du fluide ? Obtiendrait-on par cet artifice l'effet optimal, donc maximal ? Assurément pas, si l'on reprend la démarche de Parent, car la quantité de mouvement moyen serait en fait composée de quantités de mouvement en chaque instant inférieure à l'optimale sauf exception quand la roue a effectivement la vitesse optimale.

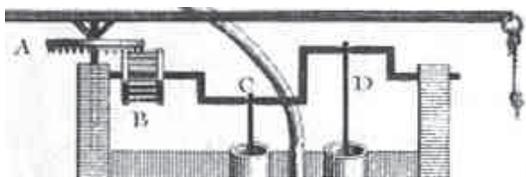


Figure 34 : Manivelle à deux coudes (C, D)

La solution sans cesse mise en avant vise à rendre les mouvements réguliers, et lorsque les moments varient, il vaut alors mieux modifier les figures du mécanisme pour rendre les choses les plus régulières possibles. Avec des manivelles comme la précédente, une solution consiste à multiplier les coudes de sorte que le poids ressenti par la force mouvante soit à peu près constant. L'exemple de la Figure 34 ne montre que deux coudes mais il est préférable d'en mettre au moins 3.

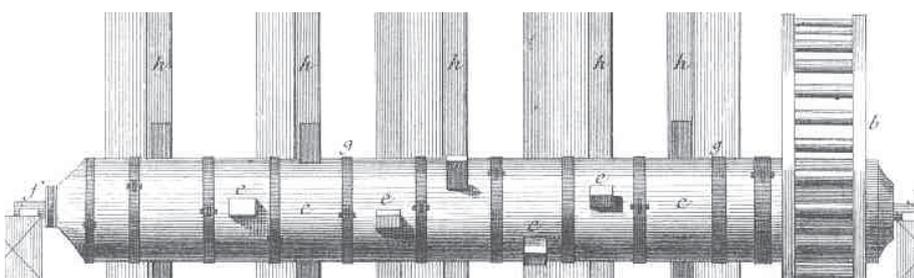


Figure 35 : Arbre de hérisson.

Si à la place d'une manivelle on a un hérisson, c'est-à-dire un rondin de bois servant d'axe moteur, hérissé de petites planches chacune perpendiculaire à l'axe, et pouvant servir par exemple à élever alternativement des pilons, Bélidor préconise non seulement de disposer ces planches sur 360 degrés, mais également de modifier la figures de celles-ci, montrant qu'une certaine figure incurvée (qu'il donne) permet aux pilons d'exercer toujours le même moment quand ils appuient sur les planchettes.

C'est dans ces limites, dans cette tension permanente entre mouvement et équilibre, et cette réduction à la régularité, que se déroule la longue séquence de l'*Architecture Hydraulique*, qui privilégie les procédures fonctionnelles parfois au prix de quelques approximations.

3.C.d.iv LIMITES DE LA QUANTITE DE MOUVEMENT COMME MESURE DU PRODUIT

On a dit précédemment que la mesure de l'effet au moyen de la quantité de mouvement s'émancipait des liaisons du système notamment en ce qu'elle devenait mesure du produit, telle qu'une quantité de farine. Cette extension n'est cependant pas toujours possible, suivant les machines étudiées. Le cas des moulins à poudre est à cet égard significatif et donne à Bélidor l'occasion de s'expliquer clairement sur ce qu'on doit attendre de la quantification du produit par la quantité de mouvement.

Les moulins à fabriquer de la poudre à canon sont traités dans le chapitre III du livre second (dans I, 1). Depuis l'invention des armes à feu, précise Bélidor, la consommation de poudre à canon a considérablement augmenté, d'où la nécessité d'inventer un moyen permettant une fabrication plus rapide. On a alors imaginé des moulins mus par l'eau pour pulvériser les matières dont la poudre est composée. A l'heure où l'ingénieur écrit, 36 moulins produisent 500 "milliers" de poudre chaque mois en France. Bélidor s'attache alors à décrire celui de La Fère, lieu dont beaucoup de ses autres descriptions sont tirées. Fabriquer de la poudre dans ces moulins consiste à mettre dans 24 mortiers les proportions de salpêtre, charbon et soufre adéquates ($\frac{3}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{8}$ pour la poudre *de guerre*), pour un poids total de 480 livres, et à les placer sous de gros pilons qui vont petit à petit effriter ces matières. En disposant la composition dans les mortiers, on ajoute deux livres d'eau, suite à quoi les matières sont battues trois heures de suite. Après cela, chaque mortier est déplacé pour être disposé dans l'emplacement suivant, ce qui prend un quart d'heure. En tout, c'est environ 22 heures de ces mouvements qui sont effectuées, suite à quoi les matières sont passées par un crible. Celles qui sont encore trop grosses sont rapportées au moulin pour y être rebattues deux heures. 24 heures environ sont donc nécessaires pour piler 480 livres de matières, à quoi il faut retirer une livre et demi ou deux de déchet.

La poudre à *giboyer* est de même composition, mais plus fine et plus lisse. On se contente alors d'en mettre 16 livres par mortier, suite au pilonnage desquels on met la poudre dans des tonneaux tournant sur eux mêmes, animés par un essieu lié par exemple au hériçon du moulin servant déjà à lever les pilons. Il vaut mieux cependant le faire ailleurs, à cause du risque d'accidents.

Par un calcul de la quantité de mouvement de ce moulin particulier, Bélidor détermine que le plus grand effet correspond à un poids de 101 livres pour chaque pilon, au lieu de 65 comme alors. Cependant, des pilons si massifs n'apportant rien au battage de la poudre, il vaut mieux augmenter le nombre de pilons plutôt que leur pesanteur. Avec une moitié de pilons supplémentaire, le hériçon en élève alors continuellement 6 au lieu de 4, soit 36 par tour de roue, au lieu de 24. Toutefois, cet état parfait correspond à une vitesse inférieure à celle du moulin dans son ancienne conception. Se pose alors la question du produit et de savoir s'il sera proportionné à la quantité de mouvement. La réponse est non. En effet, suite à la modification présente, la quantité de mouvement produit en sortie, l'effet de la machine, augmentera relativement peu, tandis que le produit, la quantité de poudre produite dans le même temps, augmentera de 50%. Pourquoi ?

En fait, l'effet ne varie pas seulement suivant le nombre de coups de pilons reçus dans un même temps, mais aussi en fonction de la fréquence à laquelle on change les matières de mortiers. La raison en est, argumente Bélidor, qu'il se forme une croûte au fonds du mortier, ce pourquoi après un certain temps seules les matières du dessus continuent à être pulvérisées. Le fait de changer les matières d'emplacement s'accompagne de la part des ouvriers de leur remaniement. Dès lors on peut réduire la période de rotation à deux heures au lieu de trois précédemment sans rien perdre de la qualité de la poudre produite. En procédant de la sorte, augmenter le nombre de mortiers de 50% permettra d'obtenir 50% de produit en plus dans le même temps :

J'en conclus donc que quoique la vitesse de la roue ne soit exprimée que par le nombre 5, dans le cas du plus grand effet, lorsqu'elle l'est par le nombre 7 dans l'état actuel, on ne laissera pas que de faire 720 livres de poudres, au lieu de 480, pourvu qu'on remanie les matières toutes les deux heures.

Je suis entré dans ce petit détail, pour montrer que l'effet d'une machine ne dépend pas toujours de la plus ou moins grande quantité de mouvement du moteur ; cette règle n'a lieu sans exception que toutes les fois qu'il s'agit d'élever de l'eau, parce que si la machine est mise en mouvement par un courant, l'on ne doit pas supposer de cause étrangère qui en augmente l'effet.⁴⁹⁵

Et pour montrer que ce sujet est important, il précise :

On trouvera peut-être que je m'arrête trop long-tems sur un même sujet; mais comment le traiter exactement sans l'examiner dans toutes ces circonstances ? C'est sans doute pour n'en avoir pas usé de la sorte qu'on découvre tant d'imperfection dans les machines. Comme je n'écris que pour les rectifier, on ne peut me sçavoir mauvais gré de m'étendre autant que je le crois nécessaire [...]⁴⁹⁶

La "quantité de mouvement" manque alors la mesure du produit pour ce type de machine, précisément parce que la "quantité de mouvement" ne s'applique qu'à une mesure

⁴⁹⁵ *Ibid.*: I, 2, 358, art. 727.

⁴⁹⁶ *Ibid.*

du travail *mécanique*, c'est-à-dire résumable à l'action d'élever et/ou de baisser continuellement des poids. Dès lors que le travail en train de se faire intègre d'autres éléments que ce que la formule peut mesurer, la mesure du travail au sens de produit ne peut plus être rendue équivalente. A moins bien sûr qu'une modélisation, vérifiée expérimentalement, ne le justifie, comme dans le cas de la quantité de farine produite sous l'action d'une meule. Mais en l'occurrence, le travail entrant en jeu dans le produit du moulin à poudre intègre des éléments irréductibles à des poids continuellement déplacés, tel que le fait de retourner les matières, et son produit ne peut être simplement proportionnel à la "quantité de mouvement", ou du moins Bélidor n'a pas les outils théoriques qui le lui permettraient.

Par ailleurs, dans d'autres machines, la notion de "rendement", si tant est qu'on puisse utiliser un tel terme, est utilisée de manière curieuse du point de vue (toujours biaisé) du lecteur moderne. Observons ce qu'il en est par exemple d'un moulin à scier.

Dans cette machine, le "rendement" est égal à... 2. Bien entendu Bélidor n'emploie pas le mot de rendement, et dans le cas dont nous allons parler, il est tout à fait impropre d'utiliser ce mot. Que fait-il, alors ? En fait, Bélidor différencie les deux phases du sciage de la machine qu'il a mise au point, à savoir la montée de la scie, et sa descente. La scie ne "travaille" (dixit Bélidor), c'est-à-dire qu'elle ne rompt les particules de bois, que dans la phase descendante. Il calcule alors l'action *utile* du moteur, c'est-à-dire la quantité de mouvement utilement employée à monter la scie en soustrayant ce qui sert à vaincre les frottements et résistances ; puis il calcule l'effet de la machine, c'est-à-dire la quantité de mouvement employée à scier le bois tandis que la scie descend, ce qui inclut l'action du poids de la scie elle-même, et le résultat de l'action du moteur qui entraîne toujours la scie. Si la résistance (en livres) des fibres de bois est égale au poids de la scie et de son équipage, elle-même égale à la force du moteur, la scie mettra autant de temps à monter qu'à descendre. Ainsi le rapport de la première valeur (l'action utile du moteur) sur la seconde (l'effet du sciage) sera égal à $\frac{1}{2}$ environ :

Cette machine a de singulier, que son effet se trouve beaucoup au-dessus de l'action du moteur, au lieu qu'il arrive ordinairement que c'est l'action du moteur qui est au-dessus de l'effet machinal, mais aussi l'on perd le tems que la scie employe à monter⁴⁹⁷

En somme l'effet est deux fois celui du moteur, mais seulement la moitié du temps. Bélidor ne perd donc pas les pédales, notre malaise ne vient que de la définition qu'il adopte comme mesure du rapport de l'effet à l'action du moteur, puisqu'il laisse volontairement de côté la considération du moteur en lui-même dans la phase descendante de la scie.

⁴⁹⁷ *Ibid.*: I, 2, 336, art. 707.

Le produit proprement dit est accessible par l'intermédiaire d'une expérience faite sur cette machine. Si elle anime 3 scies, Bélidor constate que le produit sera de partager une poutre de 12 pouces d'épaisseur et de 30 pieds de long en 4 parties, de 3 pouces d'épaisseur sur 30 pieds de long chacune.

Mais le produit n'est pas insensible à un invariant. Bélidor considère en effet que débiter du poids s'apparente à vaincre une résistance, donc à lever un poids. Ainsi, débiter une poutre deux fois plus épaisse qu'une première, demandera deux fois plus de temps. Ici, c'est une fois encore le modèle P.v qui joue. Pour une résistance, donc un poids, double, correspondra une vitesse moitié moindre, donc un temps double. Si deux scies agissant ensemble débitent en un temps t une pièce de 10 pouces d'épaisseur, une seule scie débiterait dans le même temps une pièce de 20 pouces d'épaisseur.

Si Bélidor doit cependant en passer par une expérience, c'est que la quantité de produit va dépendre de la nature du bois scié, et qu'on ne saurait connaître *a priori* la correspondance entre la quantité de mouvement machinale, et la quantité de produit que si l'on disposait d'une théorie permettant de savoir à l'avance quelle résistance occasionnerait tel ou tel bois, et de pouvoir tout résumer à un modèle unique. Bélidor contourne aisément la difficulté par une expérience fondatrice, que nous avons mentionnée ci-dessus. Ceci lui permet de trouver un rapport constant, entre la quantité de mouvement de la scie pendant la descente, et la quantité de bois (du moins de *ce type* de bois). Cette relation de proportionnalité lui permettra de trouver la quantité de produit d'une machine développant une quantité de mouvement différente, et ce *avant même* la construction de la nouvelle machine. La réalisation d'une première machine, à l'état parfait, est donc nécessaire pour pallier l'insuffisance originelle de la théorie. Le calcul du produit doit aussi s'accompagner de l'attention à l'effet de bord occasionné par la spécificité de l'opération de sciage, n scies produisant toujours $n+1$ planches.

Bélidor fait également appel à l'expérience pour fonder une légitime comparaison avec le travail des opérateurs humains. Elle met en scène trois gaillards appliqués à une scie verticale, un à l'extrémité supérieure, deux à l'inférieure. Ils s'appliquent à débiter des pièces de bois de chêne ordinaire, de bois blanc, et de chêne dur, à chaque fois secs puis verts. Soit 6 expériences.

	Epaisseur	Vert	Sec
Chêne ordinaire	12 pouces	10 pieds/h, pendant 2 fois 6h (une journée de	5 pieds/h, 60 pieds par jour

		travail).	
Bois blanc	12 pouces	14 pieds/h	6 pieds ½, ou 7 pieds/h
Chêne dur	7 ou 8 pouces	25 ou 26 pieds/h	31 ou 32 pieds/h

Fonction évidente de ces expériences : fonder les bases d'un calcul écono-mécanique de substitution à la Amontons, en déterminant par des expériences fondatrices comment intervient la qualité de chaque bois dans la quantité de produit finale⁴⁹⁸. Ce qui intéresse Bélidor n'est évidemment pas un effort ponctuel, maximal, mais bien l'effort dont sont capables les hommes sur une durée longue, autrement dit leur travail, puisque tout tourne autour de cela. C'est pourquoi il prend soin de les observer toute une journée durant à chaque expérience relatée. Le but cependant, il ne faut pas l'oublier, est de pouvoir remplacer les hommes par la machine, car moins coûteuse, du moins c'est ce qu'il exprime dès l'introduction du sujet :

Je crois qu'il n'est pas nécessaire de faire sentir les avantages d'un moulin à scier dans les endroits où l'on fait de grands travaux, comme aux arsenaux de marine & de l'artillerie, aussi-bien que dans les autres lieux où l'on débite une grande quantité de bois qu'on ne pourroit faire scier à force de bras qu'avec beaucoup de dépense, au lieu que le moulin une fois construit, son entretien est un petit objet, & d'une bien plus prompte exécution, pouvant faire travailler trois ou quatre scies à la fois, pourvû que l'on ait assez d'eau pour donner à la roue un certain degré de vitesse.⁴⁹⁹

N'y a-t-il pas d'autre but à l'observation des scieurs ? La suite du texte montrera que oui. Le but est également le contrôle, par la connaissance de la quantité de produit que les groupes d'hommes peuvent faire chaque jour. Si cela n'est pas dit explicitement ici, cela s'exprimera au contraire très clairement à la fin du volume II, 2, dans un passage savoureux dont nous allons bientôt faire l'analyse.

Finissons-en avec la quantité de produit. Il peut arriver que la quantité de mouvement ne soit pas une mesure pertinente du produit de par l'inadéquation d'une telle mesure à s'appliquer à un certain type d'effet, comme la percussion. Ainsi à propos des sonnettes, ces engins destinés à enfoncer des pieux dans le sol, servant de fondations pour un édifice, Bélidor va appliquer le calcul des quantités de mouvement, quand bien même le choix soit très discutable.

⁴⁹⁹ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, I, 321.

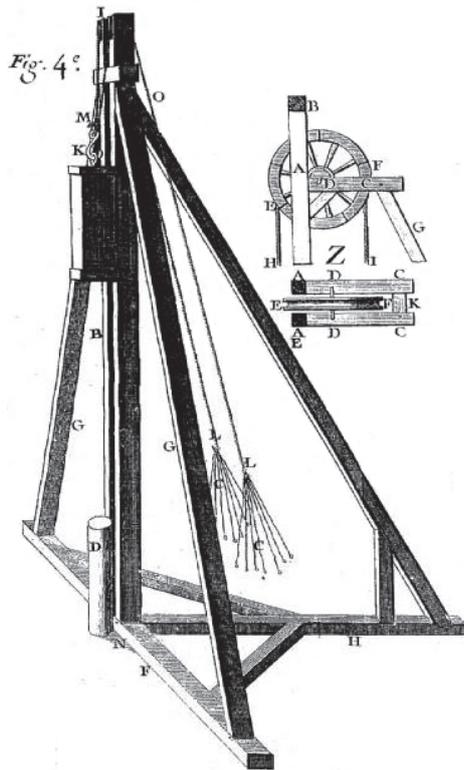


Figure 36 : Sonnette servant à lever des moutons destinés à enfoncer des pieux (II, 1, livre troisième, chapitre VI, planche VIII)

En effet, selon les expériences de W.J.'s Gravesande⁵⁰⁰ en 1729, la hauteur de compression d'un sol est un phénomène dépendant de la hauteur à laquelle le corps qui la comprime est lâché. Rappelons que W.J.'s Gravesande s'adonne à des lâchers de billes de plomb ou de cuivre depuis différentes hauteurs, atterrissant dans de la glaise, pour déterminer à quelle profondeur s'enfoncent les dites billes. Il trouve alors, contrairement à son idée de départ, que la hauteur d'enfoncement est directement proportionnelle à celle de chute, donc au carré de sa vitesse. Bien entendu, on a beau jeu aujourd'hui de mettre cette inadéquation en avant, mais il était bien moins évident à l'époque de savoir quelle mesure employer, surtout quand on passait au cas concret de l'enfoncement des pieux, dans lequel entrent en concurrence plusieurs phénomènes. Bélidor considère donc que l'enfoncement d'un pieu dépend de la quantité de mouvement communiquée à lui par le mouton, proportionnelle donc à la racine carré de la hauteur d'où est tombé ce dernier (ou sa vitesse), et non sa hauteur simple (ou sa vitesse au carré). Il en passe ensuite par la transmission de la quantité de mouvement tirée de la physique des chocs pour déterminer la "vitesse" du mouton. Il faut en outre considérer la résistance à l'enfoncement croissante, en proportion simple de l'accroissement de la base du pieu. D'autre part, par définition, un pieu ne reste pas en surface. La résistance des terres (le frottement, dit Bélidor) croît dans une proportion identique à la surface latérale de la partie enfoncée du pieu. Ainsi, le pieu s'enfonce d'autant moins à chaque percussion qu'il est plus enfoncé, enfoncement qui peut alors s'exprimer par une progression arithmétique. Si l'on veut être tout à fait précis, dit Bélidor⁵⁰¹, il faudrait compter également que le frottement sur le pieu augmente en outre à raison que les terres qui le pressent sont plus profondes. Ainsi la

⁵⁰⁰ Nous utilisons pour ce personnage la forme internationale utilisée par la Bnf (Gravesande, Willem Jacob's (1688-1742)).

⁵⁰¹ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: II, 1, 191, art. 306.

progression devrait plutôt être géométrique qu'arithmétique. Bélidor le mentionne en passant, mais se limite à une progression arithmétique, son but étant “*de fixer l'attention pour tirer des conséquences*”.⁵⁰² Ces différentes circonstances rendent fort malaisées une expérience en conditions réelles dans laquelle on puisse déterminer si les données de la théorie concordent avec l'expérience. Par ailleurs, comme il le note lui-même,⁵⁰³ les pieux enfoncent souvent plusieurs couches de terres différentes. Dans ce dernier passage, il ne mesure d'ailleurs pas les enfoncements à chaque percussion, mais le temps pris pour arriver jusqu'à la limite de chaque couche de terre. Ce qui lui sert à faire une estimation du temps nécessaire à battre un certain type de pilots qui, associé à l'examen de la force des hommes pour élever les moutons, lui sert à faire un calcul du coût de battage de chaque pieu⁵⁰⁴: 6 livres 10 sols 8 deniers rien que pour les salaires.

La mesure du travail se heurte donc ici à une théorie encore insatisfaisante. Bélidor n'est cependant peut être pas complètement dupe, car cet exemple est peu développé. Néanmoins il en tire des conclusions erronées, comme par exemple qu'il est plus judicieux de battre 4 fois un pieu avec un mouton depuis une hauteur H , qu'une seule fois depuis une hauteur $4H$. Car le temps perdu à la levée étant à peu près identique dans les deux cas, on gagnerait moins d'enfoncement dans le premier que dans le second, si l'enfoncement était effectivement en raison de la racine de la hauteur comme le suppose Bélidor.

3.C.d.v L'ENGLUEMENT ECONOMIQUE

Dans cet ouvrage d'ingénieur, on est cerné de toutes parts par le contexte et les motivations économiques. Tout le but de l'ouvrage concourt à faire plus d'effet, plus de “quantité de mouvement” avec moins de dépense. Une optimisation mécanique au service de la maximisation économique, dans ces textes où la mesure du travail, à la fois travail du moteur, travail de la machine, et produit du travail, est omniprésente. Cet aspect est tellement constitutif de la pensée de Bélidor qu'il semble baigner le moindre mot, comme s'il s'était liquéfié en chacun d'eux et en chacune des réflexions de l'auteur.

La filiation avec Parent crève les yeux. Il insiste d'ailleurs lui-même sur l'importance d'appliquer la méthode d'optimisation que ce dernier met au jour en 1704. Dans un contexte où la production se fait croissante, accentuant donc les besoins, et où les divers moteurs disponibles sont soit limités en quantité (hommes, chevaux), soit dépendants de lourdes et

⁵⁰² *Ibid.*

⁵⁰³ *Ibid.*: II, I, 110, art. 201.

⁵⁰⁴ *Ibid.*: II, I, 111, art. 201.

coûteuses machines (eau, vent, feu), il est compréhensible que les logiques mécaniques et économiques, loin de se *rejoindre*, aient en fait formé un tout dès le départ. Amontons et Parent raisonnaient déjà dans ce schème, dans leurs efforts technologiques où l'on aurait bien de la peine à séparer le raisonnement économique du mécanique. Ils se constituent l'un l'autre dans cette quête de l'action sur le réel qu'est la technologie.

Optimisation, prévision, on peut donner quelques exemples de la chose tirés de ce texte qui en abonde :

Par exemple s'il étoit question de faire mouvoir les pistons de pompe pour élever de l'eau dans un réservoir, afin de la distribuer aux fontaines d'une ville, ou pour tout autre usage; la fin qu'on doit se proposer est d'en procurer avec une puissance limitée la plus grande quantité qu'il est possible dans un temps déterminé [...]⁵⁰⁵

Ce dernier aspect est particulièrement sensible lorsqu'il relate sa théorie des pompes. On découvre alors que bon nombre des études et des découvertes qu'il relate sont le fruit d'un projet pour améliorer les pompes du pont Notre-Dame à Paris, que Turgot lui a confié. Michel Etienne Turgot (1690-1751), le père du célèbre économiste, prévôt des marchands de Paris de 1729 à 1740, en somme l'équivalent d'un maire actuel, pour le dire vite. La question de l'eau est d'une importance cruciale.⁵⁰⁶ La ville de Paris est alors alimentée par les sources et aqueducs qui existaient avant 1670, mais également depuis cette date, par deux machines identiques tirant l'eau de la Seine, initialement construites par le sieur Joly, un ingénieur ordinaire du roi, et le sieur de Mans, modifiées depuis par un certain Rannequin, qui les a beaucoup perfectionnées⁵⁰⁷. Turgot et les échevins sont alors "*plus occupés que jamais du dessein de donner à Paris une grande abondance d'eau*" du fait du développement de la ville et de ses besoins, et de la progression de l'idée hygiénique. On trouve d'ailleurs dans le chapitre V du livre second (*in I, 2*), un résumé de la délibération du 30 août 1737, dans laquelle l'ingénieur se voit confier le projet car se fait sentir "*la nécessité de procurer dans tous les quartiers de cette ville une plus grande quantité d'eau, tant pour l'usage des bourgeois & habitans, que pour la tenir nette dans les rues & dans l'intérieur des maisons*".⁵⁰⁸ Pour ce faire, il faut "*atteindre au dernier point de [la] perfection*"⁵⁰⁹ (Ibid.) de la machine du pont Notre-Dame, et c'est ce pour quoi Bélidor est mandé. On veut obtenir le maximum de ce que cette machine est potentiellement capable de fournir car les besoins sont

⁵⁰⁵ Ibid.: I, 1, 110, art. 298

⁵⁰⁶ Concernant le problème de l'eau à Paris, cf. ROCHE, DANIEL, "Le temps de l'eau rare du Moyen Âge à l'époque moderne", *Annales, Economies, Sociétés, Civilisations*, 39, n° 2, 1984, pp 383-399

⁵⁰⁷ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, 2, 208, art. 1105.

⁵⁰⁸ Ibid.: I, 1, 208, art 1105.

⁵⁰⁹ Ibid.

là, et on peut aisément imaginer les conséquences d'une pénurie d'eau sur une ville qui compte déjà un bon demi-million d'habitants.

Ce n'est qu'un des exemples parmi d'autres, la majorité des machines exposées par Bélidor étant tirées de ses propres travaux, ou de ceux de personnages qu'il côtoie. C'est d'ailleurs ce qui rend l'ouvrage si vivant. Y revit devant nos yeux le spectacle captivant d'une société en train de se faire au jour le jour.

Après l'optimisation, on peut également donner un exemple de la volonté de prévision :

[...] si l'on n'y apporte toute la précision à laquelle on voit que je me suis attaché icy, on n'agit qu'à tâtons ; on recommence plusieurs fois les mêmes pièces avant qu'elles puissent servir, & ce n'est qu'en multipliant la dépense mal-à-propos qu'on parvient à les faire jouer, au lieu qu'en voyant clair à ce qu'on fait, on est en état de répondre du succès, même avant l'exécution⁵¹⁰

Le calcul du travail (la "quantité de mouvement") à quelque niveau que ce soit (moteur, machine, produit), a un but économique, jusque dans les applications les plus anodines.⁵¹¹ Ces aspects sont connus, nous n'y insistons pas davantage. Nous reviendrons dans le dernier paragraphe à un aspect plus original de la pensée de Bélidor, à savoir le lien qui s'établit dans son esprit entre travail quantifié et travail contrôlé.

Notons tout de même avant cela, que les raisonnements mécaniques et économiques ne concordent pas toujours. En effet l'étude avant construction ne saura tout prévoir, et pire, ce qu'on croit être des avantages fait naître ailleurs d'autres inconvénients, tels des fantômes dans la machine :

Malgré tous les soins qu'on peut se donner pour la perfection d'une machine, on n'oseroit promettre de la rendre entièrement exempt de défaut, & c'est beaucoup faire quand on parvient à ne lui en laisser que moins qu'il est possible ; il arrive même assez souvent qu'en voulant éviter une imperfection, on en fait naître d'autres qui ne sont pas moins préjudiciables.⁵¹²

Ainsi à propos d'un piston plus étanche que d'autres grâce à des joints de cuir plus nombreux, il en fait remarquer le bénéfice réel, du fait que le piston ne perde pas d'eau, mais il note également l'augmentation du frottement de ce cuir, obligeant à un remplacement plus fréquent de cet élément. Conclusion :

⁵¹⁰ *Ibid.*: I, 1, 338.

⁵¹¹ *Ainsi à propos des sonnettes, dont nous avons parlé dans le point précédent, Bélidor montre que les machines ordinaires habituelles sont manœuvrées par 20 hommes alors que 16 suffiraient si la direction de leur effort était plus verticale, ce qui se fait simplement en remplaçant la poulie au sommet de la sonnette par une roue (II, 1, 107-108, art. 200). Ceci entraîne une réduction des coûts de production, mise en application par M. Pollart, inspecteur général des ponts et chaussées, que Bélidor cite. Mais il est vrai que pour cet exemple particulier, Bélidor raisonne uniquement sur la dimension force, plus exactement sur la direction de l'application de la force, et non sur la quantité de mouvement en elle-même.*

⁵¹² BÉLIDOR, *Architecture hydraulique*: I, 2, 119, art 959.

“il faut seulement prendre garde de ne pas acheter cet avantage trop cher, en tombant dans quelque inconvénient qui en diminueroit le prix”⁵¹³

Par ailleurs, si le calcul de la “quantité de mouvement” joue un grand rôle dans toute l’affaire, les avantages d’une machine ne peuvent se limiter à cela. Un moulin à eau devra se juger également sur son emplacement, sur la possibilité de pratiquer une chute faisant passer l’eau par dessous la roue (Bélibidor pense en effet obtenir ainsi un plus fort rendement), sur le niveau moyen de l’eau tout au long de l’année, afin de ne pas construire dans un lieu qui ait de trop fort dénivelés, ou qui provoque l’arrêt du moulin de par les inondations ou sécheresses, sur le fait qu’il n’y ait pas d’autres moulins à proximité, qui risqueraient, s’ils fonctionnent grâce à un barrage, d’inonder le moulin qu’on envisage de construire, ou inversement, et quantités d’autres considérations dont la prise en compte ne peut pas se réduire au calcul d’un indicateur tel que le travail.

3.C.e. LA CORPOREISATION DE LA MACHINE

De l’*Architecture Hydraulique*, laboratoire de papier où se fécondent les logiques des précédentes décades, naît une forme, puissante, boîteuse aussi, où l’on reconnaît la figure de l’ingénieur moderne.⁵¹⁴ Hybridant les démarches technologiques héritées de l’Académie Royale des Sciences, et visant l’effectivité, il donne à voir un Amontons corrigé par Parent et réciproquement; une statique à tentation dynamique; un dialogue entre théorie et pratique; un repos qui se rêve mouvement.

Au cœur de ces tensions, dont certaines demeureront irrésolues, vient se loger le visage, Janus, de la machine et de l’animal. Plus exactement, la perception de la machine sous le schème animal, semblant, par un logique jeu de retour, faire écho à l’animal machine.

Cette figure intéresse au premier plan celui dont la recherche s’axe sur le concept de travail mécanique. En effet, dans l’œuvre qui voit le concept faire enfin corps avec la mécanique théorique en 1829, *Du Calcul de l’Effet des Machines*, on voit toute la charge physique et même anthropomorphique, dont le concept de travail mécanique est revêtu. Nous avons vu précédemment quelle filiation se dégageait entre Coriolis et les ingénieurs-savants de la fin du Grand Siècle de ce point de vue : les antécédents du concept de travail sont teintés de la chair et des muscles de ceux qui le produisent en le payant de leur peine et de leur fatigue. Le travail, dans cette acception, est d’abord un concept humain et bestial créé pour

⁵¹³ *Ibid.*

⁵¹⁴ Pour une vue générale de la constitution de cette figure, cf. VERIN, *La gloire des ingénieurs*.

mesurer la capacité de production des agents organiques, humain en tête, et les comparer écono-mécaniquement aux autres agents.

Bélicor est le produit de ce contexte, et sous sa plume on voit alors la machine prendre vie. Il use d'abord sans restriction du terme travail quand il veut désigner l'activité de la machine :

“la scie ne travaille que lorsqu'elle descend, & non pas quand elle monte”⁵¹⁵

Un terme qui, par le jeu de la substitution, s'appliquera non seulement aux machines mais aux éléments moteurs de ces machines :

[...] les anciens avoient ignorés [sic] l'art de mouvoir les machines, en faisant travailler comme nous, l'eau & l'air à la place des hommes et des chevaux; [...]⁵¹⁶

Si le travail de l'homme sert à mouvoir une machine, alors l'agent qui le substitue sera dit laborieux. Si le travail de l'homme donne le produit par l'intermédiaire d'un simple outil, la machine pouvant le remplacer sera dite également laborieuse. Mais il y a plus. La machine, petit à petit, se voit accorder une autonomie, qui la mène bien proche des automates. Ainsi Bélicor élabore un moulin à scier extrêmement ingénieux où, une fois un tronc d'arbre mis sur un chariot, l'humain n'a plus rien à faire d'autre que de lever une planche, libérant ainsi l'eau qui par son choc mettra en branle toute la mécanique, sciant le tronc et s'arrêtant seule :

Voilà en général tout le mécanisme de ces sortes de moulins [à scier] qui est des plus simples, puisqu'il n'y a d'autre sujettion que de placer sur le chariot des coulisses la piece que l'on veut scier, d'accrocher l'anneau au déclit qui interrompt le mouvement au moment où il doit cesser, & d'approcher ou d'éloigner du rouet la lanterne qui amene le bois à la porte du moulin; la machine est chargée du reste⁵¹⁷

La machine, tout juste surveillée par un homme seul, devient opératrice, ou pour mieux le dire, ouvrière. Bélicor n'hésite pas non plus à la qualifier de caractéristiques corporelles. Ainsi, à propos de la pompe de Notre-Dame dont l'essentiel de la force concourt à la détruire, la machine “*doit d'autant plus fatiguer que la roue aura de vitesse*”⁵¹⁸, dit-il, et “*quand la machine souffre, ce n'est pas précisément à cause que la roue va plus vite, mais parce que les corps de pompes ont des défauts contraires à cette vitesse*”⁵¹⁹ (Ibid. p. 215). Une fatigue et une souffrance qui sont encore répétées à la même page, et page 216.

On accorderait que tout ceci ne puisse être que d'anodines bien que persistantes métaphores ou des doubles sens de vocabulaire, si un dernier élément ne venait compléter le

⁵¹⁵ BÉLIDOR, *Architecture hydraulique: I, 1*, 329.

⁵¹⁶ *Ibid.*: I, 2, 308.

⁵¹⁷ *Ibid.*: I, 1, 325

⁵¹⁸ *Ibid.*: I, 2, 214, art. 1120

⁵¹⁹ *Ibid.*: I, 2, 215, art. 1120

tableau avec encore plus de force. Ainsi dans le second tome de la première partie, Bélidor examine les machines à feu, en citant d'ailleurs Amontons à plusieurs reprises, reportant le lecteur aux HMARS de 1699 pour le détail de son moulin à feu. Il accorde, élogieux, que celui-ci avait toutes les chances de réussir. Au vu de l'expérience et de l'expertise de Bélidor, un tel jugement n'est pas à prendre à la légère, et montre l'ingéniosité du savant d'origine normande. Puis, après avoir décrit et analysé une machine à feu installée à Fresnes élevant l'eau d'un puits, et capable de produire quatre fois plus d'effet que 50 chevaux dirigés par 20 hommes appliqués à une machine ordinaire, Bélidor, au comble de l'enthousiaste, reprend le fil de sa métaphore :

Il faut avouer que voilà la plus merveilleuse de toutes les machines, & qu'il n'y en a point dont le mécanisme ait plus de rapport avec celui des animaux. La chaleur est le principe de son mouvement; il se fait dans ses différents tuyaux une circulation, comme celle du sang dans les veines, ayant des valvules qui s'ouvrent et se ferment à propos; elle se nourrit, s'évacue d'elle-même dans des tems réglés, & *tire de son travail tout ce qu'il lui faut pour subsister.*⁵²⁰

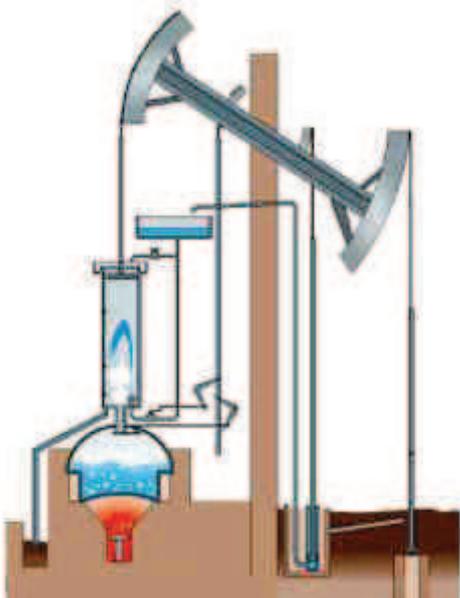


Figure 37 : Schéma simplifié d'une machine de Newcomen, que Bélidor étudie.

Le propos est on ne peut plus éloquent, à mettre en rapport avec le qualificatif de “*chef d'œuvre de l'esprit humain*” dont parlait Bélidor dans la préface du premier tome. La métaphore ici, n'est pas un simple jeu d'image

destiné à la compréhension d'un public peu habitué du sujet, ni un abus de langage. Elle a un rôle, et une origine. On voit tous les parallèles que l'on pourrait tirer avec son image en creux, l'animal machine, au travers de ses fluides, de ses tubes, de sa source de chaleur, de sa circulation. Machine animale et animal machine sont le miroir l'un de l'autre. Mais Bélidor pousse plus loin encore l'analogie. C'est que la machine consomme, produit du travail proportionné à la quantité de nourriture qu'elle ingurgite, défèque ou urine, et *vit de son travail*.

⁵²⁰ Ibid.: I, 2, 324-325, art. 1323 Nous soulignons.

Pour comprendre un peu plus exactement sur quoi Bélidor appuie son analogie, il est nécessaire de savoir que la machine à feu en question est composée d'un balancier (Figure 37). A une extrémité (droite sur la figure) de ce balancier, est reliée une pompe, servant à ramener les eaux des profondeurs du puits. Sur le même bras de levier est fixée une autre petite pompe, qui a pour tâche de ramener une petite quantité de l'eau précédente dans un bassin situé au dessus du piston de la chaudière (à gauche sur la figure). La chaudière chauffe un ballon d'eau, et la vapeur générée meut le piston de gauche vers le haut, faisant ainsi basculer le balancier et agir la pompe de droite. Quand le piston de gauche arrive au sommet de sa course, la communication de la vapeur dans le piston s'interrompt, et une aspersion d'eau se déclenche, alimentée par le bassin susmentionné. La vapeur se condense alors, et se crée un vide amenant le piston à redescendre, tandis que l'aspersion s'arrête automatiquement et que toute l'eau contenue dans le corps du piston, est évacuée.

On comprend mieux alors les analogies, et notamment comment la machine s'évacue, l'eau rejetée s'apparentant à l'urine ou au déchet.

La machine est *corporéisée*. Il ne s'agit pas seulement de dire que la machine est conçue, dans son mode de fonctionnement, à l'image d'un corps humain ou animal. Nous entendons par ce terme un double mouvement, dans le rapprochement réciproque du corps sensitif, du corps humain vécu comme présence au monde et expérience totale, et du corps naturel, stérile, sans vie. Ce rapprochement est double, non seulement en ce que la machine est comprise dans des schèmes *a priori* humains, mais aussi en ce que le corps naturel apporte ses propres logiques, notamment mécaniques.

Quand on parle de corps humain et sensible, ici, il ne faut pas entendre uniquement des sensations physiques, mais aussi et surtout une *représentation* du corps, impliquant autant les sens que la conscience. La corporéisation de la machine désigne donc la compréhension de la machine par intégration de ses mécanismes extérieurs à l'expérience intérieure de notre représentation du corps au sein de notre environnement, compréhension dans laquelle la nature de la machine elle-même, dans ses lois mécaniques quantifiables notamment, n'est pas neutre. La corporéisation n'est donc pas une simple projection de notre espace intérieur sur le monde qui nous entoure, mais l'ouverture d'un espace commun entre conscience et réalité dans ce rapport au réel particulier que constitue l'interface du corps ressenti et représenté.

Or la représentation du corps n'est pas qu'une affaire de soi avec soi. Elle dépend de valeurs par exemple. La représentation qu'aura un haltérophile de son corps ne passera pas seulement par les sensations qu'il éprouvera lors des efforts endurés dans ses exercices. Elle ne passera pas non plus uniquement dans la représentation spatiale qu'il aura de son corps, et

qui l'amènera à se mouvoir différemment que s'il avait un autre corps. Elle passe aussi, et peut être surtout, dans les valeurs attachées à certains types corporels, en l'occurrence dans cet exemple, dans la représentation de puissance, de force, de virilité, que l'haltérophile éprouvera en conséquence d'un environnement culturel particulier. De même, la représentation que tout un chacun se fait de son corps au sein d'un environnement, dépend de valeurs et de représentations sociales. Ainsi en est-il du travail, dont l'acception la plus basique a commencé par être le travail physique. L'expérience corporelle de l'homme au travail ne se limite pas à n'être que physique ou axée sur les sens : c'est une expérience au monde non seulement en vertu de ce que le corps est une interface avec un monde environnant conçu comme différent, mais aussi en vertu de ce que nous nous représentons de nous mêmes dans l'action laborieuse. Il faut tout d'abord que celle-ci ait été définie comme une catégorie pertinente. On sait que l'antiquité grecque par exemple, n'avait pas de concept unique pour désigner ce que nous appelons aujourd'hui travail, et le monde d'alors n'était pas compris sous ce concept ni sous des catégories proprement économiques. Ainsi le travail de l'artisan et celui de l'homme labourant son champ n'étaient pas perçus identiquement, quand bien même les deux aient pu se dépenser physiquement. Le premier était perçu comme le signe d'une aliénation, l'artisan se situant alors dans un tissu de connexions et d'interdépendances, tandis que le laboureur faisait montre d'une idéale autarcie, apanage de l'homme libre. La représentation du corps et l'expérience au monde qui en découle n'étaient pas les mêmes. A l'époque qui nous occupe, le travail comme concept positif a commencé à faire jour un siècle plus tôt environ, et le 18^e siècle voit sa progression jusqu'à la totalisation du 19^e siècle.

La *corporéisation* de la machine porte donc avec elle une énorme charge de signifiés. Parler de *corporéisation* de la machine dépasse donc de très loin l'application d'un schéma fonctionnel organique à l'inorganique. Comme le montre Béliador dans son analogie, il entre en jeu la représentation que se fait l'homme de son travail, ou du moins ici celle des élites. Le travail, pensé de plus en plus comme catégorie unique, et désormais positif, est appliqué à la machine, en même temps que la machine est pensée comme un corps humain. Si la machine est *corporéisée*, si elle est, pour le dire vite, une forme de corps humain, alors elle doit avoir le même rapport au monde qu'un humain. Alors elle doit *travailler*. Alors, elle doit survivre corporellement par le produit de son *travail*. Alors, elle doit être enserrée dans un schéma *productif*. Dans le même temps, la machine comme constituée d'engrenages et de boulons, de matière et de *liaisons*, charge également avec elle des signifiés. Elle est dépendante d'un invariant, par exemple, tel que P.v. Elle est calculable, quantifiable, ou du moins tend-on à le

penser, dans ces tentatives récurrentes, constitutives de la technologie et de l'histoire du concept de travail mécanique, de faire correspondre la loi et la matérialité. Cette charge matérielle aura une influence extrême sur la conception même de l'homme au travail, et du travail lui-même. Car ce qui est en jeu depuis au moins Amontons, c'est bien la *quantification* du travail, ou du moins de la capacité de travail, des hommes, des bêtes, des machines, un concept déjà en voie de globalisation, de compréhension totale du monde et de l'expérience au monde. C'est elle qui est en jeu aussi chez Bélidor. C'est elle qui est en jeu chez Daniel Bernoulli, comme nous le verrons. C'est elle, encore, qui sous-tend les efforts de certains travaux de Coulomb, et c'est elle qui s'exprime dans les travaux de Navier et de Coriolis, cherchant à créer une *monnaie mécanique*. La conception du travail socio-économique qui en découle n'est pas indépendante de ces recherches. Et c'est bien chez Smith une problématique de la quantification du travail qui s'exprime lorsqu'il cherche à le réduire au temps. C'est bien cette dimension *scalaire*, ce fait que l'on puisse ajouter du travail à du travail comme on ajouterait des pommes à des pommes, qui perdure jusque dans nos débats contemporains sur la réduction du temps de travail, dans la propension qu'on a à imaginer qu'il est une quantité scalaire divisible et additive, comme l'a montré François Vatin.⁵²¹ C'est bien aussi cette qualité quantifiable et additive, le fait que le travail de 200 hommes en un jour puisse être équivalent au travail d'un homme en 200 jours, que Proudhon critiquera vertement, montrant que le travail collectif n'est pas la somme des travaux individuels.⁵²²

Or dans le cas de la machine à vapeur de Bélidor, c'est bien ce qui se produit, la machine est *corporéisée* au sens où on lui applique la dimension de l'expérience de l'homme au travail, la machine chargeant avec elle ses signifiés mécaniques. En effet, comment faut-il entendre qu'elle "*tire de son travail tout ce qu'il lui faut pour subsister*"? C'est simple : son travail produit l'élévation de l'eau, dont une partie, une partie infime d'ailleurs, lui sert à alimenter le bassin entretenant l'aspersion alternative d'eau dans le piston, et ainsi à poursuivre son mouvement. Par ailleurs, la source d'énergie de la machine n'est autre que les rebus de charbon de basse catégorie, invendables, extraits des mines dont l'exploitation est

⁵²¹ Cf. des remarques de l'auteur sur les résonances de la conception additive du travail dans la société française actuelle : VATIN, FRANÇOIS, *Le travail et ses valeurs*, Paris, Albin Michel, 2008: 198-199.

⁵²² PROUDHON, P.-J., *Qu'est-ce que la propriété ?* (édition présentée par Robert Damien ; introduite et annotée par Edward Castleton), Paris, Librairie générale française, 2009(1840). Proudhon affirme que le propriétaire capitaliste, en payant le travail des ouvriers, paye "autant de fois une journée qu'il a employé d'ouvriers chaque jour, ce qui n'est point du tout la même chose". Ainsi s'il a fallu quelques heures à deux cents grenadiers pour dresser l'obélisque de Louqsor sur la place de la Concorde, peut-on supposer « qu'un seul homme, en deux cents jours, en serait venu à bout ? » La production est le résultat de l'utilisation de la force collective du travail et non de l'addition des forces individuelles des travailleurs. C'est la force collective qui permet le surplus d'énergie, et c'est le propriétaire capitaliste qui s'attribue ce surplus d'énergie, d'où sa célèbre formule taxant la propriété capitaliste de vol.

rendue possible précisément par ce type de machine. Il est assez extraordinaire de lire ces lignes, car d'elles se dégagent la conception qu'a Bélidor du travail en son sens social et économique. La machine, donc l'homme, récupère une petite partie de ce qu'il produit, ici l'eau et un peu de charbon, se séparant de la plus grande part. Cette petite partie lui permet de reproduire sa force de travail. Bélidor fait abstraction ici du travail supplémentaire nécessaire par les ouvriers pour extraire les rebuts de charbon, la machine ne se nourrissant seule qu'en ce qui concerne l'eau.⁵²³ Alors, pour une source de nourriture constante, le travail permet la continuation du mouvement, ou de la vie, permettant ainsi la reproduction de travail. Sans produit réalisé, sans travail donc, pas de mouvement ; sans mouvement, pas de travail. Le travail fait vivre la machine tout comme le travail fait vivre l'homme. On ne peut cependant penser cela que si l'on accorde au travail la valeur d'un concept unique qui totalise notre rapport au monde. Dans cette optique, notre survie corporelle n'est pas interprétée comme la conséquence d'une somme d'activités irréductibles les unes aux autres, telles que cueillir des fruits, labourer la terre, ou façonner des outils et des objets par l'artisanat; mais comme la conséquence d'une activité unique aux formes diverses : le travail.

En outre, dans le schéma exprimé chez Bélidor, il n'est pas seulement question de survie de la forme, dans le mouvement de la machine ou de la continuation de la vie : il est question de production, et de produire plus que l'on ne consomme. C'est presque dire que le travail est création de valeur. En tout cas, c'est au moins dire que l'homme, et *a fortiori* la machine ne sont pas destinés à une simple reproduction du mouvement, mais à une reproduction du mouvement à but de production.

C'est dire alors que le but et même l'essence de la vie, est de travailler. Il se joue ici plus d'un siècle de catégorie morale et sociale du travail, comme nous aurons l'occasion de l'expliquer, puisqu'on assiste depuis le début du 17^e siècle, à une valorisation, une positivation morale du travail, dans un schème mercantiliste où l'augmentation de la production joue déjà son rôle. A l'heure où écrit Bélidor, si le mercantilisme est tombé en déliquescence, le travail a fini de devenir une valeur positive, et le monde se voit de plus en plus réduit à être compris derrière son prisme. 150 ans de moralisation s'expriment alors dans la machine *corporéisée* survivant *par et pour* son travail. Ce qui est en jeu est une vision naturalisante du travail, travail lui-même fruit d'une construction théorique. L'homme travaille, non plus simplement au sens biblique, mais dans une acception du terme extraordinairement plus ample : c'est son destin, mieux même, c'est sa nature.

⁵²³ L'intégrer supposerait que la machine tire de l'eau qu'elle produit la valeur du charbon qui la nourrit.

C'est tout cela qui entre en jeu dans la *corporéisation* de la machine, et dont l'aspect quantifiable n'est pas le moindre, comme nous l'avons décrit dans ces pages.

3.C.f. TRAVAIL QUANTIFIE, TRAVAIL CONTROLE

Bélibidor va alors montrer à quel point son esprit est écrasé par la vision laborieuse du monde, à la toute fin du deuxième tome de la seconde partie. La quantification du travail mécanique, ou de la "quantité de mouvement", et la production, ou le travail au sens socio-économique du terme, vont alors se figer dans un masque hideux, présage de l'aliénation laborieuse dixneuviémiste.

Ainsi dans le chapitre XII (II, 2), dans l'article 1183 intitulé "*Description d'une nouvelle machine adaptée aux chapelets, pour faire à la tâche des épuisemens avec oeconomie & célérité, accompagnée de l'extrait d'une lettre à ce sujet*". Bélibidor y donne ce qui est sans doute l'un des premiers moyens techniques de contrôle automatique du travail. Il s'agit d'un odomètre, autrement dit un compte-tours, dont le placement peut facilement se faire sur les manivelles actionnées par les hommes et servant à mouvoir des roues à chapelets. Nous citons ici de larges extraits, jugeant que le texte en vaut véritablement la peine, nous réservant les commentaires pour la suite.

[...] l'aiguille qui sera placée sur l'axe de cette roue, marquera par sa révolution quatre mille tours de manivelle sur le cadran qui est au-dessous, & sur lequel ils seront divisés par centaines; chacune de ces divisions est d'une grandeur suffisante pour y reconnoître les demi-cent & même les quarts, ce qui suffit".⁵²⁴

Une fois l'aiguille mise à zéro,

on fermera le devant de la boîte d'une porte de pareil fer battu, à laquelle on mettra un cadenas⁵²⁵ [sic]

Alors,

Le produit du cent de tours de manivelle sera fixé sur ce que les ouvriers doivent gagner en travaillant raisonnablement sans trop se fatiguer. Par exemple on sait que quatre hommes peuvent faire communément trente tours de manivelle par minute, étant appliqués pendant deux heures de suite à une manivelle de seize pouces de coude, dont le hérisson a huit pouces de rayon, jusqu'au milieu de la chaîne, la pompe ayant douze pieds de hauteur, & cinq pouces de diamètre, ce qui donne 3600 tours pour deux heures, & 14400 tours pour 8 heures, qu'ils peuvent travailler en 24 [heures]. *Si l'on veut* que les ouvriers gagnent 24 sols par jour, ou 6 sols par relais, il faudra payer chacun à raison de deux deniers du cent de tours. C'est pour lors que l'on verra naître l'émulation, & l'on sera peut être obligé de retenir les plus intéressés, & de fixer un terme qu'ils ne pourront passer afin qu'ils ne se fatiguent pas trop. S'il arrivoit que pendant le relais on eût fait plus de 4000 tours de manivelle, l'aiguille recommenceroit le cadran, & l'on pourroit tenir compte de cet excédent. L'on aura attention de placer l'odomètre du côté convenable pour que l'aiguille marche du sens naturel. Au reste l'on jugera du bon effet de cette machine par l'extrait que voici d'une lettre écrite de Saumur du 2 octobre 1752 à M. Peronet par M.

⁵²⁴ BÉLIBIDOR, *Architecture hydraulique: II,2*, 463, art. 1183.

⁵²⁵ *Ibid.*

Voglier, ingénieur des ponts & chaussées de ce département, chargé en chef du pont de pierre que l'on y fait actuellement.⁵²⁶

Suit la lettre en question :

J'ai fait exécuter l'odometre avec la précision possible, & il s'est trouvé en tout conforme au detail que vous m'en avez fait. Je juge par la façon dont j'ai vû travailler les ouvriers dans les experiences que j'en ai faites pour regler comme il faut le prix des tâches, & leur donner quelque émulation, que ce seroit exiger pour un travail bien soûtenu que trente tours par minute, avec des chapelets tels que les nôtres, qui ont 20 pieds de hauteur depuis le tourillon du sabot jusqu'au dessus de la gargouille ; que l'on ne doit en ce cas compter que vingt-cinq tours par minute, quinze cens par heure, & trois mille en deux heures; d'autant que j'ai remarqué que dans toutes les experiences le chapelets n'a éprouvé aucun faux engrainement. Je crois donc que le plus fort travail étant considéré comme trois mille six cens par relais, il faudroit que chaque cent de *marons* valut deux deniers un quart, ce qui fait 27 sols par jour; & comme il y en a qui poussent jusqu'à quatre mille, la journée seroit pour lors de 29 sols 3 deniers, c'est sur ce pied que j'ai réglé les premiers relais. Je pense avec fondement que cette machine doit opérer un tiers de diminution sur la dépense, & un avantage non moins sensible sur l'emploi total du tems, consequemment sur la vitesse des épuisemens; il est dès lors aisé de concevoir de quelle utilité cela doit être pour le service du Roi.⁵²⁷

Il y a plusieurs choses à remarquer dans cet extrait édifiant. Tout d'abord, Bélidor n'est pas une âme charitable : s'il parle de travail que l'ouvrier puisse fournir "*sans trop se fatiguer*", il ne faut pas comprendre par là, comme l'expression populaire le suggère ("il ne s'est pas trop fatigué à faire cela"), que l'ouvrier ne se fatiguera en fait presque pas. C'est au *trop* qu'il faut prêter attention : l'ouvrier doit être fatigué juste ce qu'il faut pour que la nuit lui suffise à récupérer. C'est un optimum derrière lequel se cache donc un maximum : on doit tirer de lui tout ce qu'il est capable de fournir en se plaçant sur le long terme, et non le court terme. Il faut tirer d'un ouvrier tout le travail possible de sorte qu'il ait juste le temps de récupérer avant le lendemain. C'est en ce sens que sont dirigées les expériences : il s'agit de déterminer quelle quantité de travail un ouvrier peut fournir continuellement au mieux, travail conçu comme quantifiable, et comme mesuré de fait par la "quantité de mouvement".

En somme, il faut remarquer ce pernicieux glissement : un ouvrier étant *capable physiquement* de produire un certain travail, disons 25 tours d'une manivelle particulière, on va *donc* le forcer à donner ce travail continuellement, en *décidant* du salaire qu'il recevra s'il effectue la totalité de travail, le salaire réel étant indexé sur la quantité de travail. Peu importe que les ouvriers, auparavant, travaillaient moins pour le même prix. D'ailleurs Voglier ne s'y trompe pas : il prédit une économie d'un tiers pour les ouvrages de ce genre, ce qui est considérable. Les ouvriers sont alors sommés de donner le maximum qu'ils peuvent, sous le seul prétexte qu'ils sont capables de le donner. Ca n'est donc pas la valeur du travail qui est payée, mais une somme arbitraire laissée au choix de l'entrepreneur aidé par son ingénieur. Le salaire est déconnecté de la valeur du travail. On peut juger alors de toute la malhonnêteté

⁵²⁶ *Ibid.*: II,2, 463-464, art. 1183.

⁵²⁷ *Ibid.*: II,2, 464, art. 1183

intellectuelle de parler d'*émulation* pour inciter les ouvriers qui le peuvent à donner encore plus de travail.

Dans cette optique, puisque cet outil de contrôle permet d'assurer économie et vitesse dans ce genre de travaux, cela revient à dire que les ouvriers en temps normal ne travaillent pas assez, et donc qu'ils sont fainéants ou en tout les cas qu'il faut s'en méfier. Le contrôle permet ainsi directement de sanctionner financièrement les ouvriers qui ne fourniraient pas le travail maximal dont ils sont capables pour une fatigue normale. Reste bien sûr à savoir ce qu'on appelle une fatigue normale, d'autant plus que les effets à long terme de ce genre de travail ne sont bien sûr ici pas examinés.

C'est en outre un moyen de contrôle aveugle, et finalement injuste qui est proposé ici. Car il faut bien se rendre compte que les expériences d'étalonnage impliquent que sera adopté une norme moyenne de travail, passant sous silence les différences physiologies et capacités de chaque homme, forcément différent de ses voisins. D'ailleurs, toutes les expériences sur l'homme et sur les chevaux qui ont été menées jusqu'à cette époque n'ont pas tenu compte des différences physiologiques des agents producteurs, dont on n'aurait de toute façon pas pu tenir compte dans l'application des calculs. C'est ainsi que l'on détermine qu'un homme moyen peut fournir dans différentes actions 25 livres continuellement à une vitesse d'un pied et demi. Au final, une telle mesure du travail entraîne une inégalité de salaires, indexés sur les inégalités de force des hommes, ou une fatigue plus importante des moins puissants.

Ce moyen de contrôle aveugle, énoncé dans le langage technique, neutre, de l'ingénieur, est en fait basé sur la méfiance, exige l'optimum, déconnecte le travail de sa valeur, et annonce la spécialisation de la tâche et travail à la chaîne.

3.D.DESAGULIERS. PREMICES D'UNE CONSIDERATION DE LA FORCE VIVE DANS LE CALCUL DE L'EFFET.

3.D.a. PRESENTATION ET INTERET

Desaguliers est aussi connu que Bélidor, sinon plus, mais contrairement à ce dernier, les études qui le concernent sont légions.⁵²⁸ Sans doute la langue anglo-saxonne y est-elle pour quelque chose. Mais Desaguliers a aussi plusieurs visages. Celui du défenseur et propagateur infatigable des théories du grand savant,⁵²⁹ notamment au travers de ses cours publics dont le rôle, non seulement dans la connaissance de Newton mais aussi dans la constitution de cette culture qu'est le newtonianisme, est maintenant avéré.⁵³⁰ Celui également, du fondateur de la franc-maçonnerie. Celui encore, de l'inspirateur de Franklin.⁵³¹ Ces aspects le rendent particulièrement présent dans les études consacrés à la société anglaise du premier dix-huitième siècle.

Mais nous allons nous consacrer sur un texte, l'un de ses plus connus : *A course of experimental philosophy*, dont les deux volumes furent publiés originellement en 1734 puis 44 respectivement. Nous emploierons ici la traduction du Père Pezenas, *Cours de physique expérimentale*, de 1751.⁵³² Un mot d'abord sur le choix que nous faisons de l'analyser après

⁵²⁸ Pour une vue biographique du personnage, on peut se référer à cette source ancienne : TORLAIS, JEAN, *Un Rochelais grand-maître de la franc-maçonnerie et physicien au XVIIIe siècle, le Révérend J.-T. Désaguliers*, La Rochelle, F. Pijollet, 1937. Voir aussi cet ouvrage plus récent : BOUTIN, PIERRE, *Jean Théophile Désaguliers: un Huguenot, philosophe et juriste, en politique*, Paris, Champion, 1999. Pour la correspondance de Desaguliers, cf. le récent travail : CARPENTER, AUDREY, PINK, ANDREW & UNIVERSITY COLLEGE LONDON, *The letters of James Brydges Earl of Carnarvon and later Duke of Chandos (1674-1744) to John Theophilus Desaguliers (1683-1744)*, dernière mise à jour: 2006-2010, (consulté le) 18-03-2011; disponible sur <http://www.ucl.ac.uk/~ucypanp/desaguliersletters.htm>

⁵²⁹ Par exemple : WIGELSWORTH, JEFFREY R., "Competing to Popularize Newtonian Philosophy: John Theophilus Desaguliers and the Preservation of Reputation", *Isis*, 94, n° 3, 2003, pp 435-455. Ou sur le rôle de ses expériences en optique sur le continent : GUERLAC, HENRY, *Newton on the continent, Ithaca and London*, Cornell university Press, 1981.

⁵³⁰ Notamment grâce aux travaux de Stewart : STEWART, LARRY, *The rise of public science : rhetoric, technology, and natural philosophy in newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge ; New York Cambridge university press, 1992. Stewart montre comment la puissance de persuasion de la philosophie newtonienne parvint, entre les mains de newtoniens tels que J.T. Desaguliers ou John Harris, à devenir une force de développement matériel, par convergence des intérêts intellectuels et pratiques. Sur ce sujet également : STEWART, LARRY & JACOB, MARGARET C., *Practical matter: Newton's science in the service of industry and empire, 1687-1851*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2004.

⁵³¹ Source de référence : COHEN, IEROME BERNARD, *Franklin and Newton: an inquiry into speculative science and Franklin's work in electricity as an example thereof*, Cambridge, Harvard University, 1956.

⁵³² DESAGULIERS, JOHN THEOPHILUS, *Cours de physique expérimentale*, 2 vols., Trad. par PEZENAS, Paris, J. Rollin, C. A. Jombert, 1751.

Bélibor, alors que le premier volume de l'Architecture Hydraulique parut en 1737. Plusieurs raisons. D'une part, Bélibor fait sens avec un environnement français, plus précisément localisé sur l'Académie Royale des Sciences, dans une tradition qui doit beaucoup à Descartes. Il n'aurait pas été pertinent d'en retarder l'analyse pour intercaler un texte anglais qui fait de Descartes un philosophe plaisant mais égaré. D'autre part, le second volume de Desaguliers doit beaucoup à la lecture des deux premiers de Bélibor, du moins dans le chapitre XII, consacré à la description et l'analyse de machines réelles, où Desaguliers reprend énormément des machines exposées par le Français. Par ailleurs, pourquoi utiliser la version française plutôt que l'anglophone? Essentiellement pour des raisons pratiques. En effet, il est beaucoup plus simple à Lyon de se procurer la française. L'anglaise n'est en effet numérisée sur internet (par Google Books) que dans son second volume⁵³³, et les microcartes de l'édition anglaise réalisées par Readex Microprint en 1968, et détenues par la Bibliothèque Municipale de Lyon, sont désormais illisibles : les appareils de lecture sont hors d'usage et ne sont plus fabriqués par aucune société. Quelles quantités de données seront encore perdues par obsolescence des technologies ? C'est une inconséquence qui pose évidemment question quant aux techniques actuelles de numérisation.

Quand on s'intéresse comme nous à l'émergence du concept de travail, le texte de Desaguliers peut s'avérer de prime abord un peu décevant, du moins une fois que l'on a lu Bélibor. D'un côté, comme on vient de le dire, Desaguliers lui reprend un certain nombre de choses, dont notamment beaucoup de descriptions de machines, mais d'un autre les mêmes objets de réflexion n'amènent pas forcément le même niveau d'analyse. Les frottements, par exemple, sont traités beaucoup plus en détail dans Bélibor que chez Desaguliers où leur exposé en reste tout de même à des principes généraux. On n'assiste pas non plus chez Desaguliers à un choc entre les deux différentes conceptions de la force-pour-mouvoir, issues d'Amontons et de Parent, et qui s'exprimait chez Bélibor par une collision entre la méthode d'optimisation de Parent et la conception des frottements d'Amontons. Bien sûr, le contexte culturel est différent, et Desaguliers ne peut pas être l'héritier de ces méthodes, ni donc a fortiori les entrechoquer. Mais même en se départissant des spécificités liées à ces auteurs et aux traditions consécutivement générées, et en s'en tenant aux sujets généraux de l'hydraulique et des frottements, il faut bien convenir que les frottements apparaissent souvent comme un objet détaché et détachable du jeu des forces, et le croisement des logiques n'a pas la profondeur de Bélibor.

⁵³³ En novembre 2010.

L'intérêt de Desaguliers nous semble résider ailleurs. Dans deux points. D'une part l'assimilation sans ambiguïté qu'il opère entre calcul de l'effet, et travail, parachevant un mouvement déjà bien amorcé chez Bélidor, comme on l'a vu ; une utilisation croissante dénotant le centrage progressif d'un discours social sur cette notion. D'autre part, l'entrée en scène de la force vive et de la force newtonienne dans la mesure de l'effet.

3.D.b. DESAGULIERS A-T-IL COMPRIS PARENT ?

Sur Parent, c'est d'ailleurs à se demander si Desaguliers l'a vraiment compris. Traitant l'hydraulique dans son second et dernier volume, Desaguliers fait intervenir Parent à l'ultime chapitre, où l'auteur naturalisé anglais s'interroge sur les maximums de travail capables d'être produits par diverses machines. Ainsi pour calculer une roue de moulin mue "par en dessous", il faut faire appel à

la proposition ingénieuse de M. Parent célèbre mathématicien de l'Académie Royale des Sciences ; lequel nous a donné le *maximum* en ce cas, en nous montrant : qu'une roue mise en mouvement par dessous produit son plus grand effet [the most Work] lorsque sa vitesse est égale au tiers de la vitesse de l'eau qui la met en mouvement.⁵³⁴

Jusqu'ici, rien que de très exact. Mais les conséquences de cette proposition l'amènent à une curieuse conclusion :

Si nous multiplions la surface de l'ajutoir ou de l'ouverture par la hauteur de l'eau, nous aurons la somme d'eau qui agit sur la roue. La roue ainsi mise en mouvement soutiendra du côté opposé seulement 4/9 du poids qui la tiendra en équilibre ; mais ce qu'elle peut mouvoir avec la vitesse qui lui est donnée, c'est tout au plus le tiers du poids de l'équilibre ; c'est-à-dire 4/27 du poids de la première colonne, laquelle résistance la roue est capable de surmonter pour moudre le blé, pour faire jouer les marteaux, pour élever l'eau, ou pour faire tout autre ouvrage [doing any other Work]. C'est là le plus grand effet qu'on puisse attendre [the utmost that can be expected]; quoique souvent l'effet est moindre : parce qu'ici nous avons supposé chaque partie exactement conformée, & l'eau appliquée de la meilleure manière. C'est pourquoi comme nous ne pouvons jamais parvenir réellement au *maximum*, nous devons en approcher le plus qu'il nous est possible, en perdant le moins qu'il se peut de l'impulsion de la puissance.⁵³⁵

Desaguliers ne semble pas avoir saisi exactement la pensée de Parent, en parlant de 4/27 du *poids* de la première colonne en lieu et place d'un effet général égal à 4/27 de l'effet naturel, effets dimensionnellement assimilables non pas à un poids mais au produit d'un poids par une vitesse. Il ne donne aucune démonstration de cette proposition, ni dans le corps du texte, ni dans les notes, se contentant de réutiliser le résultat d'une vitesse de la roue égale à un tiers de celle de l'eau pour un travail maximal.

Par ailleurs, le fait de donner pour proposition centrale le tiers de la vitesse du fluide comme maximum tend à montrer une connaissance indirecte de Parent, par une de ses

⁵³⁴ Vol. 2, p. 496. Desaguliers souligne. P.424 de l'édition anglaise.

⁵³⁵ Ibid.

réécritures, celle de Pitot par exemple.⁵³⁶ Quoiqu'il en soit, même si ce calcul du maximum de travail n'intervient qu'au dernier échelon de l'exposé du livre, on peut remarquer, par l'emploi même des termes de Desaguliers, que le terme travail (*work*) est désormais utilisé sans hésitation, et qu'il est mis en correspondance avec la recherche de son maximum.

3.D.c. LA RECHERCHE DU MAXIMUM DE TRAVAIL

Quel sens a cette recherche de maximum ? Ne plus être trompé par les fripons et les ignorants, et que l'invention procure l'avantage de l'acheteur. En effet,

dans l'application des machines, il y a des bornes qu'on ne peut jamais passer. C'est faute de connoître ces bornes, que bien des gens s'attachent à de nouvelles inventions dans l'espérance des grands effets qu'elles semblent devoir produire (1, 481)

Ainsi il ne suffit pas d'imiter ce qui a fonctionné ailleurs, il faut comprendre, car

Il y a de la supercherie parmi les ouvriers comme parmi les poètes. Les machinistes ne sont pas moins sujets que les écrivains à être plagiaires, & à faire mauvais usage de ce qu'ils ont pillé (1, 482)

Or à en croire Desaguliers, presque tous les ouvriers en plomb de l'époque se déclarent ingénieurs, si bien qu'il n'y a plus qu'inventeurs, faiseurs de moulins, à l'incompétence désastreuse. Ils « *jettent les gens dans des dépenses inutiles qui les ruinent. Il en est peu qui comme le feu Richard Newsham, s'appliquent à procurer l'avantage des acheteurs* » (1, 485)

Ainsi,

afin qu'on ne soit plus exposé à être trompé à l'avenir par rapport aux moulins & aux machines hydrauliques, j'indiquerai le *maximum* dans tous les cas, c'est-à-dire que je ferai voir quel est le plus grand poids que l'eau peut élever en un tems marqué, soit que le courant de l'eau frappe contre la roue, soit qu'elle soit remuée par un certain nombre d'hommes & de chevaux. (1, 487)

⁵³⁶ Pour faire comprendre l'interdépendance de la vitesse et de l'effet, Desaguliers énonce :

“considérons que si une roue ne travaille point [if a wheel does not work] étant dans un équilibre parfait, elle se mouvra aussitôt que l'eau frappera contre ses aubes, & son mouvement sera, par exemple, de trois pieds par seconde, si la vitesse de l'eau est telle. Maintenant supposons que la même roue soit appliquée à quelque travail [apply'd to do Work], ce travail pourra être si fort qu'il opposera une résistance capable d'arrêter la roue, de manière que toute l'impulsion de l'eau ne sauroit la faire remuer. Donc si la résistance est diminuée par degrés, la roue commencera de se mouvoir ; & la vitesse s'augmentera à mesure que le travail sera moindre [as its Work is lessen'd]. Mais aussi le travail [the Work] peut être si léger [may be too much lessen'd], que la roue tournera trop vite, & par consequent elle ne produira pas assez d'effet [not perform enough].

M. Parent a montré que lorsque la roue tourne avec le tiers de la vitesse de l'eau, elle est alors capable de produire son plus grand effet [is capable of doing the most work], parce qu'alors le tiers de l'eau est employé à mouvoir la roue avec une force proportionnelle au carré de la vitesse.” Vol. 2 p. 496 de l'édition française et p. 424 de l'anglaise.

3.D.c.i INDISTINCTION ENTRE THEORIE ET PRATIQUE ; MEFIANCE ENVERS LES OUVRIERS

On peut relever au moins deux lignes force de ce discours. La première nous est bien connue, et nous l'avons vu célébrée depuis au moins Parent. Elle concerne l'équivalence entre calcul et économie d'une part, et hasard ou méconnaissance et dépense inutile de l'autre. Ainsi,

Celui qui veut s'en mêler [de l'art des machines hydrauliques] ne doit pas ignorer les mathématiques : il faut qu'il soit instruit des principes de la mécanique, qu'il soit bon philosophe, qu'il connoisse les règles de l'hydrostatique & de la pneumatique, qu'il soit un bon praticien en fait de mécanique, qu'il connoisse la nature des matériaux, & la meilleure maniere de les employer ensemble. (1, 484)

Desaguliers va plus loin, et conspue ceux qui prétendent trouver une différence entre les calculs de la théorie, et leurs réalisations pratiques.

La raison de cela, c'est qu'on appelle souvent *théorie* une légère esquisse qui ne présente que des proportions générales ; & le dessein étant *incomplet*, il n'est pas étonnant qu'il ne réussisse pas dans la pratique. (1, 485)

Il va alors plus loin, en redéfinissant en quel sens on doit comprendre le mot théorie :

Pour avoir une théorie complète, il faut que l'Entrepreneur se connoisse en maçonnerie, en charpente, en ouvrages de fer, qu'il sçache la force, la durée, la cohérence des corps, qu'il soit capable, non seulement de donner un dessein générale [sic] de toute la machine, mais d'en détailler chaque partie ; & il doit exprimer les plus petites parties par une échelle exacte, afin qu'on les puisse examiner avec beaucoup d'attention, avant que de rien commencer. Un tel dessein que les *François* appellent *devis*, qu'ils exigent de leurs ingénieurs pour les fortifications des places, & de tous les entrepreneurs, quand il s'agit de quelque grand ouvrage, est la seule théorie vraie & complète. [...] Je réponds qu'alors la pratique répondra toujours à la théorie (1, 485-486)

La théorie n'est que l'exacte image sur le papier de ce qui sera dans le réel. La carte, pour le coup, *est* le territoire. Le territoire des engrenages du réel trouve son exacte correspondance dans les dessins d'encre de la carte des raisonnements et des connaissances des matériaux.

La seconde ligne force a trait à la méfiance entretenue à l'égard des ouvriers, discours dont Desaguliers n'est ni l'inventeur ni le fossoyeur. En 1702 déjà, les fourberies des ouvriers formaient l'essentiel d'un petit ouvrage écrit par un président de la cour des finances de Paris, un certain Fremin, et devant servir d' "*instruction sur toutes les tromperies des ouvriers infidels travaillant dans les bâtimens*". Tout un programme. On a vu par ailleurs chez Bélidor comment s'exprime cette même défiance envers les ouvriers, prétendument paresseux, et la nécessité subséquente de contrôle. Naissait alors un odomètre de surveillance, fruit des amours tristes de la science et de la production, livrant l'ouvrier à la doctrine de l'optimisation. Desaguliers n'y va pas non plus de main morte et n'hésite pas à parler de "complot général parmi les ouvriers". En effet, quand un mathématicien met au point un projet dont il abandonne ensuite l'exécution à des ouvriers, qu'arrive-t-il ?

L'ouvrier ignorant se charge de faire [ce] qu'il n'entend pas ; l'ouvrier fripon cherche à faire échouer l'entreprise, en exécutant mal ce qui lui est prescrit, parce que ce n'est pas lui qui en avoit donné l'idée et le modèle. C'est un complot général parmi les ouvriers de faire un mystère de leur art. Ils regardent comme un faux frere quiconque dévoile à d'autres leur maniere de travailler, & le prix de tous les matériaux. (1, 485)

Entre le mathématicien et l'ouvrier, doit se placer l'ingénieur, si cruellement absent à l'époque dans les machines hydrauliques selon Desaguliers. Il doit être "bon mathématicien" et "avoir l'oeil sur les ouvriers" (1,486).

3.D.c.ii TRAVAIL MECANIQUE, TRAVAIL ECONOMIQUE (WORK/LABOUR).

Mais quelle est cette chose que Desaguliers appelle *travail* dans la traduction de Pezenas ? Ce terme est toujours associé dans le cours de l'ouvrage, à la mesure P.v, avec des accents que l'on retrouve aussi chez Bélidor. Il faut cependant noter que dans l'exposé de Desaguliers, c'est la "quantité de mouvement" P.v qui se voit attribuer le rôle central dès même l'explication des machines simples, alors qu'on observait jusque là la mise en avant des moments, desquels découlaient ces pseudo-quantités de mouvement. Avec Desaguliers, ce sont à l'inverse les moments qui sont dérivés des ces dernières quantités.⁵³⁷

La plupart du temps, Desaguliers utilise le mot anglais *Work*, là où son traducteur parle de travail, d'ouvrage, d'effet, pluralité qui dénote certes un souci de variété de la langue, mais également une connaissance des auteurs dont Desaguliers traite. Ca n'est pas par hasard que Pezenas, comme on vient de le voir, utilise le mot *effet* dans les passages où il est question de Parent tandis que l'auteur anglais n'utilise que *work*. Effet faisant écho au concept d'effet général, ou naturel, de l'irascible personnage. On a souvent glosé sur la différence entre *work* et *labour*, l'un mécanique, l'autre économique, la différence du vocable anglais permettant de les différencier, contrairement à la langue française. Si l'on admet cette réelle distinction, il faut alors aussi admettre la réduction qui s'opère de l'une à l'autre chez Desaguliers. En effet, si le mot *labour* est peu présent chez Desaguliers, on le voit apparaître dans des passages clés. Ainsi :

Par les principes de mécanique que nous avons donnés dans le premier volume, on peut acquérir assez de connoissances pour être assuré de la quantité d'eau moyeune [sic] qu'un homme peut élever dans une heure à

⁵³⁷ Ainsi : "[...] un petit corps peut avoir autant de mouvement qu'un grand corps, quelque disproportionnés qu'ils soient, pourvû que les vitesses qui leur sont données soient réciproquement proportionnelles à leurs masses ; c'est-à-dire, que le petit corps ait d'autant plus de vitesse par rapport au grand, qu'il a moins de matiere" (Vol.1, p.47, §9) ; Alors, dans les instruments mécaniques, "si un petits poids doit en soutenir un grand, il faut trouver le moyen de donner au petit d'autant plus de vitesse par rapport à celle du grand, qu'il a moins de matiere, & alors sa force étant égale à celle du grand, il le soutiendra, s'ils se meuvent dans des directions contraires, parce qu'alors des forces égales se détruiront mutuellement. C'est ce qu'on fait par l'invention des machines & par la maniere de les appliquer." (vol. 1, p. 48, § 12). Les bras de levier ne sont ensuite mentionnés qu'en tant qu'ils expriment la vitesse (cf. vol. 1, p. 49, § 15).

une certaine hauteur, sans faire aucune expérience hydrostatique ou hydraulique ; si l'on peut se persuader que c'est la même chose de porter en haut dans une chambre un certain nombre de pintes d'eau dans le même tems. Mais peu de gens, à moins qu'ils ne soient versés dans les mécaniques, s'imaginent que ce soit *exactement le même travail* [exactly the same labour] & *qui demande autant de temps*, de porter le poids d'un tonneau de bled dans un grenier ou de remplir un tonneau d'eau dans le même endroit, soit en la portant à seaux ou en le tirant avec une bonne pompe. [...] je me suis déterminé à fixer sur des faits hydrauliques mon *maximum* de ce qu'un homme ou un cheval peuvent faire en pareil cas, observant ce que les hommes ont fait actuellement avec les meilleures pompes ou machines hydrauliques qui soient en usage & prenant le milieu. Ensuite je ferai voir que la même chose doit résulter du calcul mécanique ; car un homme qui tourne une roue ou un levier pour élever des poids, ne travaille [works] ni plus ni moins que s'il élevoit de l'eau ; & s'il avoit les yeux fermés, il ne sauroit pas si c'est l'un ou l'autre. (vol. 2, 575-576, fr ; vol. 2, 490, eng.)

Passage remarquable, montrant à l'évidence la pénétration et la réduction de l'une à l'autre des deux notions, travail mécanique d'un côté, travail économique de l'autre.⁵³⁸ Desaguliers parachève une idée déjà présente en France à la fin du 17^e siècle, aux deux versants : premièrement que toute activité productive peut se réduire à un poids que l'on élève verticalement ; deuxièmement que cet aspect mécanique du travail était équivalent au travail en un sens socio-économique. Amontons déjà ne faisait pas autre chose que forger dans une même pièce ces deux faces du travail.

Remarquable aussi le fait qu'en dernière analyse, le travail soit lié à une sensation. C'est la même chose, nous dit-il, d'élever des poids solides ou liquides, car les *yeux fermés*, un homme ne saurait faire la différence entre ces deux travaux. Ce qui fonde l'identité entre les travaux passent donc par la sensation corporelle, qui recouvre à la fois peine et fatigue, ressentie durant l'accomplissement de l'ouvrage. Une fois de plus, c'est par le corps physique que passent la compréhension et la conceptualisation du travail.

Le travail réduit à son aspect mécanique, calculable, sert évidemment des buts d'optimisation, et la grande affaire de Desaguliers dans la dernière section est de déterminer le maximum du travail réalisable par différentes entités. Cette idéologie de la quantification du travail demande cependant d'abord à ce que l'on s'entende bien sur les objets qu'on se propose quand on parle de travail. Ainsi, outre le fait de réduire le travail à une affaire de poids élevés, il lui faut aussi le différencier de l'adresse. En effet, examinant dans le volume premier les différentes manières pour un homme d'utiliser sa force, il précise :

je ne parle pas ici non plus de creuser, de frapper à coups de marteau, de fendre le bois, ou des autres opérations pénibles du travail des mains, parce que plusieurs hommes sont beaucoup plus adroits que les autres ; & le même homme par un long usage devient si parfait dans une façon de travailler, que par l'adresse qu'il a acquise il peut

⁵³⁸ On trouve la même idée dans le premier volume, quoiqu'un peu plus timidement : “[Si un homme] employe dix secondes de temps à élever 200 livres à dix pieds, & s'il veut élever une pierre qui pese 2000 livres par un levier dont les bras [...] sont comme 10 & 1, il doit se mouvoir de 10 pieds à l'extrémité du long bras du levier, pendant que la pierre se meut d'un pied ; ce qui revient au même que si la pierre étant coupée en dix parties, le même homme les élevoit chacune successivement à un pied de hauteur, ce qui produiroit précisément le travail [wou'd do it just with the same labour] que lorsqu'il les élève toutes-à-la-fois avec le levier.” (vol. 1, p. 50, § 16, fr ; vol. 1, p. 47, eng). Nous soulignons.

faire le double de ce que feroit une personne sans experience, & même sans y employer la moitié de la force que celle-ci employe. Mais c'est là proprement une adresse, & non un travail, qui est la chose uniquement que je prétendois examiner ici. (vol.1, p. 261)

Ainsi la réduction du travail au quantifiable mécanique doit-elle s'accompagner d'une dépersonnalisation. Signant ce qu'il y a de commun entre tous les hommes, le travail ne demande pas d'adresse, ce doit être une pure opération mécanique échappant à l'expérience, à la diversité des actions et des morphologies. Mettant ce passage en écho avec l'identité work/labour précédemment exposée, on perçoit les implications d'une telle conceptualisation. Le travail dans toutes ses acceptions se réduit progressivement à ce triste élément calculable transcendant les particularités. Pour fonctionner, le calcul doit supposer les hommes semblables à des machines à la marche réglée, constante, et consécutivement les réduire physiquement à cet état. Le travail avec Desaguliers est ce qui définit l'impersonnel, il échappe à l'ouvrier même en ce que le travail est ce qui reste une fois substitué un ouvrier à un autre, à n'importe quel autre. Interchangeable, ses caractéristiques personnelles n'intéressent plus le mécanicien, et bientôt plus l'entrepreneur : pire, elles sont même nuisibles en ce qu'elles apportent une perturbation dans la prévision. La réalité pour être prévisible doit correspondre au calcul, et ici, par pure négation des composantes non mécaniques du travail de l'homme, Desaguliers trace une définition du travail à laquelle devra au final correspondre la réalité : c'est la réalité qui doit se mutiler pour se couler dans le cadre étrié de la théorie, ce sont les ouvriers qui doivent se comporter comme si leur travail n'était que mécanique par des dispositifs conçus sur la pensée d'un travail purement mécanique. Il faut casser le rythme, propre à l'ouvrier adroit et intelligent, pour lui substituer la cadence de l'agent producteur prévisible et normé. C'est donc aussi là, dans cette matière froide du calcul, que se construisent les bases de ce qui deviendra bien plus tard le travail à la chaîne.

Il faut maintenant faire retour sur la sensation dont nous parlions précédemment, qui fondait en dernière analyse la conception du travail chez Desaguliers : on comprend alors que ceci ne signifiait pas que le travail soit relatif à la sensation de chacun, et par là incommensurable à un autre travail. Cette sensation ne se veut pas, ne peut pas être, le ressenti particulier d'un corps et d'un esprit particulier. Dire que le travail est compris par, et comme, la sensation corporelle ne doit pas signifier qu'il échappe au calculable et à la norme. Le travail doit être ce qui reste quand on change les ouvriers. Et c'est alors parce que le travail est tout entier mécanique, et que deux travaux mécaniques sont interchangeables, que la sensation, conçue alors comme sensation consécutive à un travail *mécanique*, doit être aussi la

même. Ainsi, si l'on pousse l'idée de Desaguliers au bout (ce que lui-même ne fait pas), on doit conclure que la conceptualisation et la réduction du travail à n'être que mécanique, accompagnée du prisme corporel tendu par Desaguliers, doit supposer que la sensation n'est que sensation du travail *mécanique*, et donc identique pour tous et par tous. Tout comme chez Bélidor, la projection d'un travail vécu intérieurement, sur une matière inerte et mécanique, crée en retour une sensation comprise mécaniquement, et au final une équivalence, ou au moins une forte dépendance, entre le vécu corporel et l'idée mécanique. En creux se dessine la problématique entre travail et fatigue, et l'on verra que Daniel Bernoulli la résoudra précisément en argumentant leur exacte proportionnalité, pour tout travail et toute personne, dans un certain domaine d'application.

C'est uniquement dans cette acception toute mécanique que peut se fonder la possibilité de prévision et plus précisément une norme, notamment chez Desaguliers celle du maximum de travail réalisable par un agent et à laquelle tous devront tendre.

3.D.c.iii MESURE DU MAXIMUM DE TRAVAIL D'UN HOMME : 1 MUID D'EAU A 10 PIEDS PAR MINUTE

Quel est ce maximum et comment le mesurer ? On a vu qu'il utilise le résultat de Parent pour les roues hydrauliques mues « par en dessous ». Mais il lui faut également, afin de n'être plus trompé par les faiseurs de projets incompetents et/ou malhonnêtes, déterminer le maximum réalisable par les hommes, et les chevaux. Et consécutivement, trouver un rapport entre les deux, reprenant une préoccupation classique, comme on l'a vu.

Dans ce but, il examine, dans une filiation assumée avec La Hire⁵³⁹, les différentes dispositions de l'homme pour travailler, afin d'en déterminer la plus avantageuse. Les conclusions auxquelles il arrive finalement peuvent être résumées de la sorte : les plus avantageuses dispositions sont celles où tout le poids du corps est utilisé. Trois exemples viennent étayer cette idée : une roue d'écureuil, la vogue des marins, et une machine à calculer le maximum de travail des hommes. Le premier intervient à propos d'une machine à éteindre les incendies, invention de Newsham, "*machiniste de Cloth-Fair, près de Smithfield*" (vol.1, p. 260) très souvent cité dans le cours de l'ouvrage. Celle-ci utilise des cages d'écureuil, c'est-à-dire, comme chacun sait, une roue actionnée par des hommes marchant à l'intérieur (voir Figure 38).

⁵³⁹ Il le cite vol. 1, p. 256, puis reproduit et annote l'intégralité de son mémoire de 1699 en note 8, p. 285 et suivantes.



Figure 38 : Grue actionnée par deux cages d'écureuil latérales, dans la représentation de Pieter Bruegel l'Ancien (La Tour de Babel, v. 1563, huile sur panneau de bois de chêne, 114x155cm, Kunsthistorisches Museum, Vienne)

Les hommes s'élèvent ainsi par degrés, *“ce qui est la plus efficace de toutes les autres manières d'employer les hommes à de pareilles machines”* (vol.1, p.260). C'est un argument qu'utilise également Daniel Bernoulli (cf. *infra*). Tout le poids du corps est appliqué successivement, et *“c'est la raison pour laquelle avec le même nombre d'hommes, [Newsham] pousse ordinairement l'eau plus loin, plus haut & en grande quantité”* (ibid.).

Mais sorti de cette application particulière, la manière *“la plus efficace de l'action d'un homme est celle de voguer ; par où un homme agit avec plus de muscles tout-à-la-fois pour surmonter la résistance, que dans tout autre position ; & comme il tire en arrière, le poids de son corps l'aide par le moyen du levier”* (vol.1, p. 260)

Cette disposition est préférable à toutes les autres, notamment les manivelles, où la direction de la force des hommes change et où le mouvement est par conséquent irrégulier. On peut trouver d'autres dispositions plus efficaces sur des courtes périodes, en utilisant les muscles des jambes, plus puissants mais *“cette opération ne peut pas se continuer & se faire par un travail journalier”* (vol.1, p. 261).

Enfin, Desaguliers imagine une machine simple permettant de calculer le maximum de travail dont un homme soit capable.

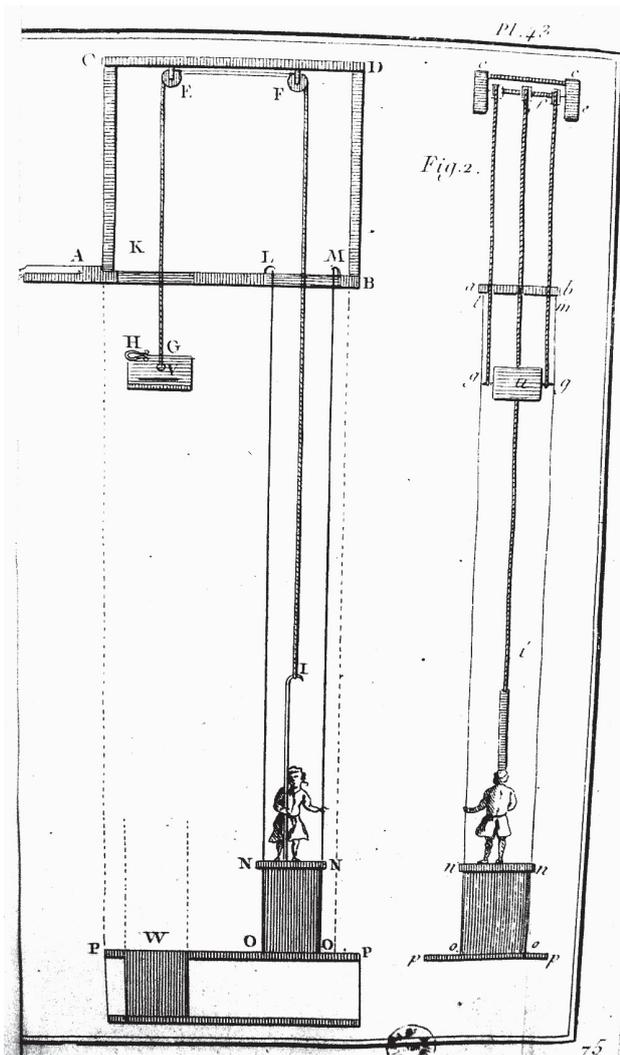


Figure 39 : Machine à mesurer le maximum de travail réalisable par un homme. Un homme, par l'action de son poids, descend de L en O sur une plate forme NN, en faisant remonter un baquet d'eau en G. Une fois arrivé en bas et le baquet vidé, l'homme laisse remonter la plate forme et remonte par un escalier (Planche 43, volume 2). [Tiré de l'exemplaire 164299 T. 02 de la Bibliothèque Municipale de Lyon]

Desaguliers pense obtenir le maximum de travail par ce biais, car le frottement est faible, pense t-il, et le poids du corps est entièrement utile dans le travail. Il dit avoir fait cette expérience en petit puis en grand, et y avoir très bien réussi. Le principe est excessivement simple puisque toute l'action consiste pour l'ouvrier à se positionner sur une plate-forme NN initialement en LM, donc en hauteur, plate forme reliée à une corde dont l'autre extrémité retient un baquet plongeant initialement dans l'eau. L'homme descend tandis que le baquet plein d'eau remonte, et se vide en basculant, une fois arrivé en bout de course. Ceci fait, l'homme abandonne sa position et remonte par un escalier aussi vite qu'il peut, pendant que la plate-forme remonte sous l'action du contrepoids constitué par le baquet vide.

Les mesures de Desaguliers tendent à montrer que le maximum de travail ainsi réalisé ne dépasse pas un muid d'eau élevé à 10,5 pieds dans une minute, mesures anglaises (vol. 2, p. 593). Desaguliers a tout lieu d'être satisfait, car ceci confirme ses précédentes expériences

faites avec les machines hydrauliques les plus parfaites qu'il connaisse. Elles lui avaient permis de déterminer qu'en toutes circonstances :

Un homme avec la meilleure machine hydraulique ne peut élever plus d'un muid d'eau par minute à 10 pieds de hauteur en travaillant tout le jour. Mais il peut en élever presque le double en ne travaillant qu'une ou deux minutes. (vol. 2, p. 585)⁵⁴⁰

Tout le jour, c'est-à-dire, d'après ce qu'il énonce un peu plus tôt, six à huit heures de suite (vol. 2, p. 585). De la sorte,

Lorsque nous venons à examiner les meilleures machines [...] si nous les éprouvons bien & si nous mesurons l'eau qu'elles donnent & la hauteur où elles la portent, ou si nous calculons ce qui en résulte des relations les mieux attestées, nous trouverons qu'elles ne surpassent jamais ce *maximum* [...] (vol. 2, p. 585)⁵⁴¹

C'est la valeur du maximum de Desaguliers, en travail forcé, qui permet au savant huguenot de juger qu'une machine relatée par "le bon Père" Castel est vraisemblable car, d'après ce dernier, quatre hommes élèvent en 20 secondes un muid d'eau à 25 pieds de hauteur, soit pour chaque homme un muid à 18,75 pieds en une minute. Cette valeur est légèrement inférieure au maximum réalisable en ne "travaillant qu'une ou deux minutes", soit 1 muid à 20 pieds par minute. Desaguliers est volontiers ironique avec Castel, dont toute la rhétorique se met au service de la promotion de cette machine : citant les Ecritures, les poètes, les philosophes, il "crie au miracle" prétendant que la machine agit par un nouveau principe de mécanique. Mais Desaguliers discrédite cette rhétorique prétentieuse :

A la fin, il dit ce qui est dans le fond tout ce qu'il doit dire pour donner à un homme intelligent une vraie idée de cette machine, que *quatre hommes en 20 secondes, par le moyen de cette machine, élèvent un muid d'eau à 25 pieds de hauteur* (vol. 2, p. 585-586)⁵⁴²

La mesure de ce travail, un poids élevé à une certaine vitesse, n'a rien de nouveau, mais Desaguliers, par le biais de ce cours à destination du grand public, finit d'acter non seulement la réduction de la notion de travail à cet indicateur calculable dont l'histoire commence au 17^e siècle, mais aussi que désormais la machine, et l'homme, ne sont plus jugés que sur ce seul indicateur. Non seulement la Bible, le style, les idées poétiques, la rhétorique, la philosophie, n'importent plus, comme le dit Désaguliers, mais en outre, l'ingéniosité, le merveilleux, la disposition interne, ou les avantages particuliers propre à leur environnement, ne sont plus les critères permettant de fonder un jugement. Le régime de vérité d'une machine tient désormais à un seul indicateur : son travail, ou plutôt son flux de travail, c'est-à-dire sa puissance pour utiliser un terme moderne. Et le travail, c'est P.v. Point barre. Le reste n'est

⁵⁴⁰ Desaguliers souligne

⁵⁴¹ Desaguliers souligne

⁵⁴² Desaguliers souligne

qu'habillage. Pourtant, on l'a vu, le fait de réduire cette notion d'abord si vague, le travail, à cet indicateur entièrement mécanique P.v, puis plus tard P.H, n'a rien d'évident, et participe de parti pris dans la conception du monde et de l'homme au travers de la mécanique. C'est cette réduction des hommes, des machines, à leur capacité calculable de production, qui fournit une grande part de la trame de l'histoire du concept de travail mécanique. Double réduction, donc, d'une part des agents mouvants, dont l'homme est l'horizon comparatif, au travail, et d'autre part du travail au travail mécanique.

Alan Q. Morton a montré que cette machine de maximum s'est retrouvée quelques années plus tard dans un environnement portuaire.⁵⁴³ En effet en 1757, un marchand de barques, Edward Cox, dépose un brevet pour une machine à décharger la houille, introduit sous une version modifiée à la fin des années 60. Cette nouvelle machine permet bientôt de décharger 30% de la houille arrivant à Londres. Plus intéressant encore est le fait que l'utilisation de ce nouveau moyen survient dans un contexte qui rappelle les futurs Luddites, à savoir les tensions face à la mécanisation. A cette époque, les conséquences de l'installation de nouvelles machines et de leurs effets sur les salaires et l'emploi se placèrent au premier plan dans deux disputes concernant les ouvriers de la houille. Du fait que le travail de déchargement était qualifié, difficile, et irrégulier, les déchargeurs pouvaient souvent exiger de hauts salaires, particulièrement quand les bateaux arrivaient en masse dans la Tamise. Les entrepreneurs mirent en place plusieurs tactiques pour faire revenir l'argent ainsi dépensé, notamment distribuer les gages dans des cafés acquis par eux, incitant les ouvriers à boire leur salaire. L'introduction de ce nouveau moyen technique est donc un élément de cette bataille entre ouvriers et entrepreneurs. C'est un lien qui illustre de manière frappante le parallèle entre les recherches mécaniques de maximum de travail, et les logiques économiques. En effet, le point intéressant ici n'est pas l'éventuelle application de la machine de Desaguliers à un environnement productif : au delà de la similitude des moyens, cela prendrait du temps pour enquêter et certifier l'influence directe. Le point intéressant est de voir que le moyen de Desaguliers, intrinsèquement, relève d'une logique économique, tout comme l'efficacité du moyen de Cox est certifiée par une logique mécanique. Cette imbrication des logiques se donne à voir ici.

⁵⁴³ MORTON, ALAN Q., "Concepts of Power: Natural Philosophy and the Uses of Machines in Mid-Eighteenth-Century London", *The British Journal for the History of Science*, 28, n° 1, 1995, pp 63-78. Les informations qui suivent sont tirées de cet article.

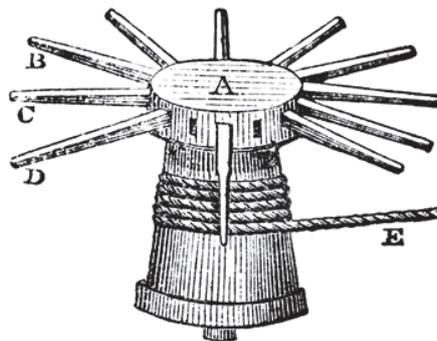
3.D.c.iv MAXIMUM DE TRAVAIL D'UN CHEVAL : OU L'ON COMPREND POURQUOI 5 HOMMES SUFFISENT A L'EQUIVALOIR EN ANGLETERRE, QUAND IL EN FAUT 7 EN FRANCE

Le maximum d'un cheval, quant à lui, a été également mesuré par Desaguliers au moyen d'un trébuchet utilisé pour les mines de charbon : dans un trottoir assez large, un cheval meut un tour dont l'essieu élève alternativement deux vaisseaux d'eau depuis le fond de la mine, pour être vidés en haut. Alors, un cheval de force moyenne porte l'eau à 50 pieds de hauteur à raison d'un muid par minute (vol. 2, p. 593). Le travail maximal d'un cheval au cours d'une longue période de temps est donc égal à cinq fois ce qu'un homme peut faire. Desaguliers n'a pas utilisé de pompes, car il y survient toujours des déperditions, mais le système le plus simple qu'il ait pu concevoir. On retrouve donc ici le rapport bien connu d'un cheval équivalent à cinq hommes, du moins bien connu en Angleterre. En France, on l'a vu et Desaguliers le sait bien sûr, ce rapport est de 7. Desaguliers ne dit pas précisément le pourquoi de cette différence d'évaluation, mais sans le savoir, il nous en donne la clé dans son premier volume. En effet, avant de s'attaquer au maximum de travail dans le volume deuxième, Desaguliers avait précédemment examiné le travail respectif des hommes et des chevaux dans le premier (p. 253 sq.). On peut alors constater que les valeurs qu'il donne pour les "forces" respectives des hommes et des chevaux ne diffèrent pas fondamentalement de celles des Académiciens des Sciences de Paris, et il cite même à l'occasion les expériences de La Hire, ou du chevalier De Camus, en plus de ses expériences propres : un homme tirant un bateau le long d'un canal n'agira qu'avec 27 livres (vol. 1, p. 256), un autre faisant tourner un rouleau horizontal ou un vindas avec une manivelle (Ibid.), avec 30 livres s'il travaille dix heures par jour et s'il élève le poids à environ 3 pieds et demi par seconde, qui est la vitesse ordinaire avec laquelle un cheval tire un poids durant son travail. Un cheval, lui, peut tirer 200 livres pendant 8 heures si la ligne de direction de la corde est parallèle à la poitrine du cheval, en parcourant 2 milles et demi, c'est-à-dire 3 pieds et demi par seconde. Et 240 livres si le temps de travail n'est que de 6 heures, sachant qu'il n'ira pas aussi vite. Cette valeur de 200 livres est obtenue en observant le poids qu'un cheval tire d'un puits par l'intermédiaire d'une poulie, en ayant rendu les frottements les moindres possibles (vol. 1, p. 254). 200 livres contre 27 ou 30 livres, voilà qui fait bien un rapport de 7, comme Desaguliers le remarque. Mais ça n'est pas là-dessus qu'il fonde sa comparaison. On comprend pourquoi : il le dit, si le fait de tirer horizontalement est la meilleure disposition pour le cheval, c'est la moins efficace pour l'homme, car alors, toute sa force dépendant de son poids, seuls 3/14 de son poids agira de la sorte (vol. 1, p. 256). L'obliquité du mouvement ne permet pas une application adéquate de la

force. De même, dans une manivelle, la direction d'application de la force de l'homme change en permanence, ainsi que les muscles en jeu, l'homme tirant puis poussant alternativement. Ceci rend le mouvement irrégulier et malaisé, entre un point fort et un point faible, c'est-à-dire un point où la résistance est minimale, et un autre où elle est maximale. C'est ce point faible qui agit comme facteur limitant dans le mouvement, ce à quoi il faut ajouter que les différences de résistance entraînent une fatigue plus importante. Comparer la force ou le travail des hommes manœuvrant une manivelle et des chevaux élevant des poids par le biais d'une poulie ne serait donc pas pertinent. Si Desaguliers ne le verbalise pas, c'est du moins ce que nous comprenons de son exposé. Or en France, les comparaisons citées entre hommes et chevaux se fondent en général sur le tirage horizontal, disposition défavorable à l'homme. Il est donc possible qu'entre Anglais et Français, on ne compare pas les mêmes exercices lorsqu'on cherche à déterminer un rapport homme/cheval.

Mais que compare-t-on alors en Angleterre ? Comme le dit Desaguliers, en citant ses expériences (vol. 1, p. 255) et celles de Jonas Moore (vol. 1, p. 273, note 6), on compare les forces ou les travaux des chevaux et des hommes actionnant un *cabestan* (Figure 40). Il note au passage que si les chevaux sont attelés à un cabestan dont les bras sont trop petits, ils ne pourront pousser avec toute leur force. Ainsi Desaguliers cite deux expériences : dans la première, un cabestan dont le trottoir a un diamètre de 40 pieds permet à cinq hommes de travailler autant qu'un cheval ; mais une seconde où le trottoir n'a que 19 pieds de diamètre, et où le levier put être poussé par trois hommes seulement, laissa le cheval incapable de s'acquitter de sa tâche.

Figure 40 : Un cabestan



Ainsi, toute la différence entre Français et Anglais viendrait d'après nous de ce que les premiers comparent hommes et chevaux en tirage horizontal, tandis que les seconds examinent le travail au cabestan. Les muscles et la direction de leurs actions étant différents, leur capacité à lever des poids par ces deux dispositifs ne concordent pas. L'examen minutieux que nous avons fait au chapitre 1 des différentes occurrences de la mesure de la force et du travail des hommes et des chevaux tend à confirmer avec cette hypothèse : en 1668

à l'A.R.S, puis en 1694 avec les expériences de Sauveur & Sébastien reprise ensuite par Parent, ce sont bien des tirages horizontaux dont il est question. De même La Hire en 1699 compare “*la force des hommes à celle des chevaux pour tirer*”, se référant à “*l’expérience commune qu’on a, qu’un cheval tire horizontalement autant que sept hommes ; & ainsi un cheval ne peut tirer horizontalement qu’un peu moins de 200 livres*” (HMARS 1699, M, 161)⁵⁴⁴. Sur la même lignée, Dalesme examine en 1705 la force des hommes pour remonter des bateaux, donc par tirage plus ou moins horizontal. Et au contraire, Amontons en 1699 utilise des chevaux mouvant un cabestan, qu’il compare à des hommes polissant le verre, obtenant alors un rapport de 6, et non de 7.

Pour étayer cette hypothèse du côté anglais, il faudrait examiner exactement comment Jonas Moore et d’autres calculent le rapport homme/cheval, s’ils utilisent bien le cabestan comme Desaguliers le dit, et comment ils l’utilisent.

Il faut noter également que Desaguliers énonce aussi cette différence des rapports anglais et français lorsqu’il parle du labourage : mais il se contente de noter évasivement qu’il a observé que cinq laboureurs Anglais font le travail d’un cheval, là où 7 laboureurs Hollandais ou Français sont nécessaires, sans citer aucune mesure.

Bien sûr, à la différence des dispositifs de comparaison, il faut ajouter d’autres causes à l’hétérogénéité des rapports nationaux, dont les principales nous semblent tenir à :

- la différence des mesures : entre la force et le travail (et a fortiori la puissance), les dimensions ne sont pas les mêmes.
- le choix des chevaux et des hommes dans chacune des expériences, qui ne sont pas statistiquement significatifs : certains chevaux ou hommes, pouvant être de constitution relativement différentes
- le choix des exercices : force explosive, travail forcé, ou travail ordinaire.

3.D.d. PRISE DE CONSCIENCE DE L’IMPORTANCE DE LA FORCE VIVE DANS LE CALCUL DE L’EFFET

Toutes ces dimensions sont importantes en ce qu’elles participent d’une pénétration croissante de l’utilisation de P.v comme mesure du travail des hommes, des bêtes, des machines, et illustrent conséquemment à quel point les notions de travail mécanique et de travail économique s’entremêlent. C’est un aspect essentiel du concept, sans quoi on ne saurait comprendre véritablement pourquoi son utilisation et son influence ont été croissantes

⁵⁴⁴ Nous soulignons.

dans la science des machines et la mécanique. Chacune des faces se nourrit de l'autre, et les deux évoluent de concert du moins dans ces premiers temps de formation.

D'un point de vue "purement" conceptuel cependant, l'avancée n'est guère patente chez Desaguliers et par certains côtés moins satisfaisant que chez Bélidor. Mais Desaguliers n'en est pas pour autant inintéressant même sous ce rapport, car il a une double culture, (anglaise et française), et ses écrits sont porteurs de la mutation du concept qui s'opère à la même époque et qui éclate chez Daniel Bernoulli en 1738 puis 1753 comme on le verra au chapitre suivant. Cette mutation tient à l'intervention de la force vive dans la conceptualisation de l'effet du travail. Chez Daniel Bernoulli, on le verra, se dessine progressivement l'idée que le travail, ou plus exactement la *potentia absoluta*, formulée comme P.H, et la force vive puissent se convertir l'un en l'autre, dans des conditions bien définies. Si Desaguliers est loin d'une pareille idée, on voit cependant apparaître dans son œuvre le problème de la force vive à l'intérieur du paradigme newtonien, et le problème conséquent que cela pose sur le calcul de l'effet.

En quoi la force vive peut elle influencer nos aspects très terre à terre de calcul de machines et d'engrenages ? Les instruments mécaniques où le mouvement peut être communiqué par degrés rendent le problème palpable : la considération de la possibilité de stockage de la "force" (d'abord conçue comme Pv dans le premier volume) se place dans la séquence qui va voir le calcul du travail évoluer de Pv encore chez Desaguliers à PH (ou Pvt) chez Daniel Bernoulli. Considérer les simples formules ne permet pas de mesurer le gouffre qui sépare les deux versions du concept. Ce qui est en jeu entre les deux ne tient pas simplement à la prise en compte ou non du temps dans le calcul de l'effet. Ce qui est en jeu est que le second envisage l'effet comme un changement de forme de la force, là où le premier ne voit dans l'effet qu'un autre nom du mouvement visible. Le second se place dans un complexe intégrant la force vive, tandis que le premier en reste à une physique où la quantité de mouvement reste la référence principale. Desaguliers est intéressant précisément en ce qu'entre son premier et son second volume, il change d'avis au sujet de la mesure de la force : d'abord partisan de mv, il se rendra compte dans le second que les adversaires ne parlent pas de la même chose. Nous pensons que si ce qui permet à Desaguliers d'évoluer dans son opinion est la considération de ces engins mécaniques où la "force" peut être accumulée : moutons, béliers, marteau, et, décisifs, les ressorts. Dans ces derniers, apparaissent des contradictions, qui tiennent précisément à ce que le mouvement mécanique change de forme, les ressorts pouvant contenir beaucoup de force tout en étant au repos.

Certes, la séquence, le passage de P.v à P.H, n'est pas finalisée par Desaguliers. Nous pensons cependant que la pensée de Desaguliers est symptomatique du climat de mutation qui permet le passage de l'un à l'autre, et mérite donc notre attention. Voyons comment.

3.D.d.i LA FORCE PEUT ETRE CONDENSEE ET ACCUMULEE

En effet, nous dit Desaguliers dans la leçon III, dans les machines simples et composées (dérivant des premières), la puissance appliquée agit immédiatement sur le poids. Ainsi dans un levier en équilibre auquel on applique un petit mouvement, un poids se verra communiquer une quantité de mouvement égale à celle de la puissance.

Mais il y a d'autres instruments mécaniques où la force de la puissance est *accumulée & pour ainsi dire, condensée*, avant que le poids agisse sur elle en aucune façon ; tel est le marteau, le robinet, le chien de la platine d'un fusil, qui porte la pierre qui doit frapper l'acier, le belier des anciens [...] & la pendule ; en un mot pour ce qui sert à donner un coup subit, ou une sorte d'impression instantanée ; & quoique tout cela puisse se réduire au calcul géométrique, lorsqu'on est certain des effets produits par ces puissances, cependant on ne peut pas l'expliquer par les principes qu'on a donné ci-devant" (vol. 1, p. 132)

Il revient implicitement sur le sujet dans la leçon IV, où il montre la grande utilité, dans l'usage des manivelles, des volants, c'est-à-dire ces croix de bois liées à l'essieu de la manivelle, aux extrémités desquelles on dispose des poids de plomb. Selon Desaguliers, par l'application d'un tel instrument un homme peut travailler un tiers de plus quand le mouvement est rapide, de l'ordre de 4 ou 5 pieds par seconde (vol. 1, p. 258). Le travail à la manivelle, de par les différentes postures prises par l'ouvrier au cours de sa rotation, est en effet irrégulier, variant cycliquement d'un point fort à un point faible. Le volant permet un travail plus régulier car il restitue dans les phases difficiles le surplus de force que l'ouvrier a appliqué dans les phases légères :

dans tous les cas le volan devient comme un *modérateur*, & il rend le mouvement presque partout égal, quoique les résistances soient inégales; il *accumule dans lui même* un grand degré de force qu'il fait agir également & par degrés; ainsi rendant la révolution dans toutes les parties à-peu-près uniforme [...] ⁵⁴⁵

La leçon V prend la peine de revenir explicitement sur le sujet, en ajoutant à la liste le mouton, servant à enfoncer des pilotis, et le ressort : dans toutes ces machines,

La puissance est amassée, & portée d'un corps à l'autre avec peu ou point de perte, par une *accumulation* qui continue dans la même ligne (vol. 1, p. 356) ⁵⁴⁶

Ainsi les machines simples ne font que transmettre le mouvement, sans pouvoir le retenir, tandis que toutes ces autres machines se comportent comme des réservoirs. Cette idée est remarquable, et montre bien que Desaguliers se représente la force comme une substance,

⁵⁴⁵ Nous soulignons

⁵⁴⁶ Nous soulignons

même à l'époque de ce premier volume, 1734, où il est encore un fidèle tenant de m.v dans la querelle des forces vives. La force selon ses propres termes, *s'accumule*, *se condense*, *se décharge*. Cette conceptualisation trouve son point culminant dans un très beau passage traitant de la frappe des monnaies, par le moyen d'un volant et d'une vis (on peut se reporter à la Figure 41 pour saisir la description):

Cet instrument mécanique [le volant] joint à la vis, compose une puissante machine, par laquelle on imprime des figures sur des monnoyes & médailles, qui exigent une force également prodigieuse & régulière. Dans cette machine les puissances sont accumulées par trois instruments mécaniques : 1°. Par le volant, dans lequel la force de l'homme qui se meut, est accumulée dans les poids qui sont à son extrémité. 2°. Cette puissance accumulée est condensée & imprimée sur le cylindre de la vis, par le moyen des *rayons* qui sont au volant ; ce sont deux leviers qui servent à condenser la même puissance dans une proportion donnée. 3°. Cette puissance ainsi communiquée au cylindre, accumulée et condensée, est encore condensée par l'échancrure de la vis dans une proportion donnée ; & ainsi toute la puissance (ou toutes les puissances successives) employées par l'homme qui meut les poids du volant, est accumulée & condensée dans la dernière impulsion, qui se fait sur la médaille. (vol. I, p. 359)⁵⁴⁷

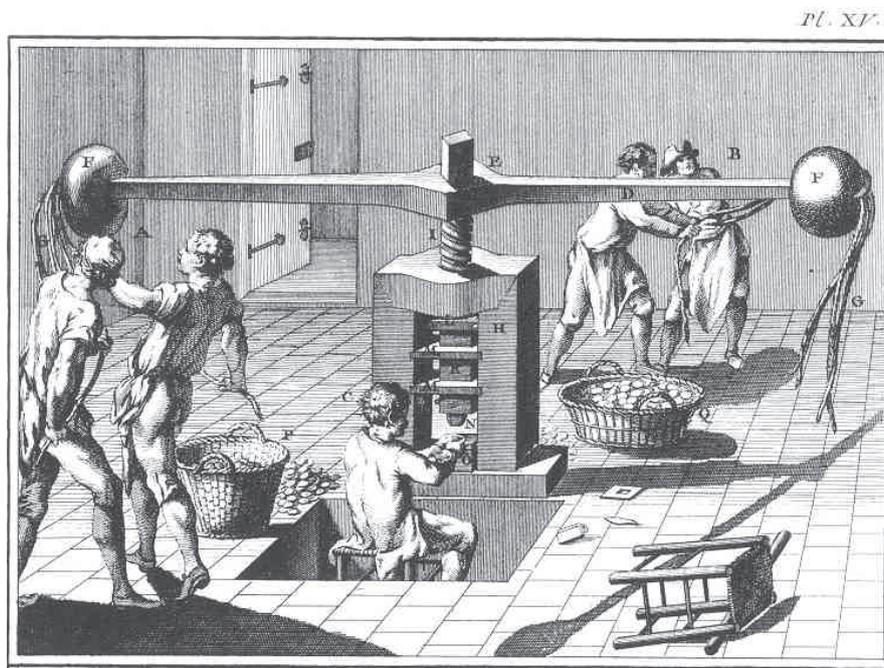


Figure 41 : Balancier servant à la frappe des monnaies, tiré de l'Encyclopédie (Planches, 25 : Monnayage, planche XV) : “Le haut de cette Planche représente le balancier des monnoies mû en A & en B par des hommes; celui en C est occupé à faire marquer les flaons. D D, le balancier. E, la clé du balancier. G G, les cordages. F F, les contre - poids du balancier. H, la presse. I, la vis. K, la tige de conduite. L, le crampon. M M, les platines de conduite. N, la matrice de l'effigie. O, la matrice de l'écusson. P, la manne aux flaons non marqués. Q, la manne aux flaons marqués.”

En lisant Desaguliers, on *voit* véritablement la force se transporter, s'accumuler successivement pour finir par se décharger toute entière dans l'impression finale. Desaguliers rend sensible cette conceptualisation, là où d'autres auteurs, tel un D'Alembert entièrement

⁵⁴⁷ Desaguliers souligne.

investi dans une physique aseptisée de toute notion de force, n'auraient vu que le froid transport de matière et les modifications de ses vitesses.

Dans tous ces instruments, la *force*, c'est-à-dire la quantité de mouvement, est accumulée progressivement et, excepté le ressort, la force garde un caractère *visible* : l'accumulation ne se traduit pas par un caractère intensif de la force. Ainsi dans un bélier, tenu au moyen de cordes, et s'apparentant ainsi à un pendule, les hommes donnent à chaque période une nouvelle impulsion qui permet au bélier d'avoir plus de force. Le marteau reçoit à la fois la force du bras et la force de la pesanteur, qui agissent également par degrés. Dans le volant, c'est sa vitesse croissante durant le demi-cycle de travail léger qui est le signe de l'accumulation des impulsions données par l'ouvrier. De même, Desaguliers ose analyser le mouton de la même manière : d'après lui, il "*se met dans une situation à pouvoir recevoir de la pesanteur un mouvement accéléré, avant que d'agir sur la résistance, ce qu'il fait à la fin avec une grande force*" (vol. 1, p. 358). Et l'effet de cette force étant proportionnel à la force même, doit se calculer, dans la logique de ce que Desaguliers avance dans tout ce volume à propos de la mesure du travail et de l'effet de la force, grâce à la quantité de mouvement. Rien n'empêche d'utiliser la force vive, mais il faudra alors la diviser par le temps que dure l'effet. Ce dernier réajustement a cependant d'étroites limites, comme on sait, et ne peut que difficilement s'appliquer au cas du mouton où l'effet après le choc contre le pilotis (c'est-à-dire l'enfoncement de ce même pilotis) n'offre guère de prise à la mesure du temps : il est trop court, presque instantané. Il faut alors supposer que même dans ce cas l'effet après le choc est proportionnel à la force ($m.v$) avant le choc. Mais dans un tel engin, l'effet n'est pas constitué par la simple transmission d'un mouvement. La force est consumée dans un enfoncement. Cette hétérogénéité, intuitée par Desaguliers, ne donne cependant pas encore lieu à un traitement différencié dans ce premier volume. Desaguliers tombe alors dans la même erreur que Bélidor, pour qui l'enfoncement du pilotis est proportionnel au produit de la masse du mouton par la vitesse au point d'impact ou la racine carrée de la hauteur de chute, bien qu'il admette que parfois l'enfoncement puisse ne pas suivre exactement la raison de mv , pour des raisons qu'il explique dans sa note 4 (vol. 1, p. 437), et sur lesquelles nous reviendrons un peu plus bas.

Quel que soit le bien fondé de ces assertions, elles ont leur cohérence. Mais Desaguliers traite également le cas du ressort, qui présente cette intéressante et fondamentale différence de ne pas présenter un caractère visible de mouvement dans l'accumulation de la force :

“[...] cet instrument mécanique, tout au contraire de tous les autres que j’ai déjà spécifié, reçoit toute la puissance ou le mouvement qui lui est imprimé & le retient jusqu’à ce qu’il soit en liberté, ou qu’il ne soit plus tendu au-delà de ce qu’il étoit, ou forcé par une puissance plus grande” (vol. 1 p. 412).

Desaguliers est conscient de la spécificité des ressorts : ils retiennent une grande quantité de mouvement, sans être eux-mêmes en mouvement, et même en pouvant s’arrêter pendant des temps considérables ! Comment alors peut-il passer du repos au mouvement, et, plus difficile, comment la force peut-elle être contenue dans un être immobile sans y être détruite ? Cette question ne se posait pas pour les autres instruments mécaniques, même ceux accumulant de la force, précisément parce que la force n’y était pas détachée du mouvement : mv, n’était qu’un mouvement accumulé graduellement par impulsion. Ici, on a affaire à un *stockage de force sans mouvement*. Desaguliers tente une réponse par comparaison avec la pesanteur : les ressorts sont “*de la même nature*” (vol. 1, p. 413) que des poids qu’on élève et qu’on laisse ensuite retomber. Comme la pesanteur, le ressort, en se débandant, agit continuellement en donnant de nouveaux degrés de vitesse. Cette analyse simple convainc en ce que la pesanteur également donne graduellement du mouvement à un corps initialement en repos. Mais à l’heure où écrit Desaguliers, la pesanteur ne suppose pas que la force soit contenue dans l’objet en repos. Qu’en est-il alors du fait même de bander le ressort, de l’accumulation dans le ressort même en phase de stockage ? Desaguliers cherche encore son schéma explicatif du côté de la pesanteur, en émettant cependant une notable différence : il faut utiliser une force croissante pour bander le ressort. Ainsi, si l’on veut tout ramener à l’élévation des poids, il faut considérer que bander un ressort serait comme élever une chaîne de poids initialement à terre, ou un cylindre d’eau avec une pompe. Pour le premier poids d’une livre, une puissance d’une livre suffit, mais pour lever le deuxième poids en plus du premier, il faut appliquer une puissance de deux livres. C’est la différence avec un simple poids d’une livre élevé dans la pesanteur, qui n’a besoin que de l’action continue d’une puissance d’une livre.

On voit que Desaguliers, dans cette dernière comparaison, fait implicitement référence au travail d’un homme qui élèverait des poids, cherchant à ramener le fait de bander un ressort à ce schéma. Mais au-delà, il nous semble que cette comparaison des ressorts avec la pesanteur ouvre la porte, en retour, à l’idée qu’une force puisse être contenue dans un objet immobile dans un champ de pesanteur, force pouvant alors se décharger au cours de la chute à l’image d’un ressort qui se débande. Cette notion cependant, n’est pas explicitement formulée chez Desaguliers : c’est nous qui poussons ainsi la logique de Desaguliers au bout. Néanmoins une telle idée, même à l’époque, n’est pas un complet anachronisme. Nous

verrons en effet au prochain chapitre que Daniel Bernoulli utilise un concept de *force vive potentielle* qui, cependant, s'apparente plus à une notion d'énergie interne que d'énergie potentielle. Nous ne pensons donc pas surinterpréter à mauvais escient en suggérant que les idées de Desaguliers prennent sens dans la formation encore balbutiante d'un complexe conceptuel mettant en jeu des notions qui aboutiront à certains aspects du concept d'énergie.

C'est ici que se situe le pont entre les deux versions de la mesure du travail, "quantité de mouvement" Pv chez Desaguliers, et *potentia absoluta* PH chez Daniel Bernoulli. L'objet de pensée considéré, le ressort, répond chez le physicien anglais à deux exigences à la fois : par le biais du stockage sous une autre forme que le mouvement, l'effet est vu comme une dépense d'une capacité, d'une potentialité, une consommation de la force en somme, ce qui est une idée leibnizienne; mais en même temps cette force n'est pas la force vive : elle est cette "quantité de mouvement" Pv, terme que Desaguliers utilise aussi pour mv (sans qu'il soit clair à quel point il différencie vraiment les deux).

Mais cette conceptualisation recèle des contradictions que Desaguliers n'arrive pas à résoudre. Bottant en touche, il renvoie à son second volume où il espère pouvoir expliquer clairement les choses. En effet, tout ce que nous venons de dire dans ce paragraphe se trouve dans le premier volume, à une époque où, rappelons le, Desaguliers ne partage pas encore les opinions de Gravesande ou Musschenbroek, concernant le rôle de la force vive. Il est cependant trop honnête pour refuser à ces derniers l'évidence des faits : c'est-à-dire que dans les expériences mettant en jeu des billes de cuivre ou de plomb en chute libre tombant dans de la terre glaise, les enfoncements sont proportionnels à la force vive. Il promet alors à son lecteur de montrer dans son second volume de "*faire voir toute l'illusion des raisonnemens, qui ont été publiés en faveur de la nouvelle opinion*" (vol. 1, p. 436). Il programme de pouvoir clore la dispute en prouvant :

1° certes qu'un corps tombant d'une hauteur H peut remonter à la même hauteur (concession aux leibniziens), ou plus exactement que l'accélération est de même proportion que la décélération,

2° que les impressions ou profondeurs que les corps durs font sur des substances molles, en les frappant avec des vitesses inégales sont proportionnelles à mv, quand bien même elles soient aussi proportionnelles à mv^2 (référence implicite aux expériences de Gravesande et Poleni),

3° que les expériences de la percussion des corps mous ne prouvent pas la nouvelle opinion mais confirment l'ancienne.

Desaguliers s'apercevra alors dans le second volume qu'il était dans une situation intenable à long terme dans ce premier volume, parce qu'il croyait devoir choisir entre les deux camps. En substance, en reconnaissant l'évidence des faits des enfoncements dans la terre glaise proportionnels à mv^2 , il suggère déjà que l'enfoncement est un effet de la force de nature différente que les effets consécutifs aux percussions se traduisant par une transmission du mouvement. Mais Desaguliers s'en sort en rattachant cela à la dureté ou la mollesse des matériaux choqués. On le comprend par exemple lorsqu'il revient dans sa note 4 sur le problème du mouton, dont il avait déjà noté que l'enfoncement ne suivait pas exactement la proportion de mv . Il avoue page 437 que l'enfoncement des pilotis dans la terre glaise doit suivre la raison de mv^2 . Mais dans la plupart des cas, dit-il, les pilotis s'insèrent dans une terre plus ou moins pierreuse, et alors les enfoncements suivent une proportion mêlée entre mv et mv^2 . Desaguliers dit déjà que les effets mesurables par mv et mv^2 sont liés à leur durée d'action, et donc à la plus ou moins grande élasticité de la matière. Les pierres étant dures, l'effet sur elles doit se mesurer par mv . On devine par là, et cela se vérifiera avec Daniel Bernoulli, que le passage entre les deux versions du travail, "quantité de mouvement" Pv , et *potentia absoluta* PH , tiendra également à la conceptualisation de la matière même, élastique pour le savant bâlois.

Arrêt sur image, à la fin de ce premier volume. Qu'est-ce qui est en place ? L'idée que le travail des agents producteurs, leur effet, est quantifiable par PV , qualifié de "quantité de mouvement" malgré ses différences avec celle-ci, laquelle quantité est substantiée et apparentée à l'idée d'une force, soit se transmettant dans le mouvement, dans le cas des machines simples ; soit se condensant, s'accumulant, de deux manières : sous la forme du mouvement même (ex : le bélier) ; ou sous une autre forme (ex : l'élasticité du ressort).

3.D.d.ii TRANSMISSION VS TRANSFORMATION : L'EFFET CONSOME LA FORCE

Après 10 ans de réflexion occasionnée précisément par le sujet de la mesure et de la conservation de la force, Desaguliers donne enfin son second volume, en 1744. Depuis 59 ans, dit-il dans la préface, la polémique fait rage, la faisant ainsi remonter à 1685⁵⁴⁸. Le point capital de la résolution de ses questions a été, dit-il, la lecture de l'édition de 1742 de la

⁵⁴⁸ Pézenas garde cette durée de 59 ans, alors que sa traduction paraît en 1751. Desaguliers, sans aucun doute, fait référence à la *Brevis Demonstratio de Leibniz*, de 1686. Ce qui suggère que ce passage a été écrit en 1743.

physique de W.J.'s Gravesande⁵⁴⁹, sous l'injonction de son ami Musschenbroek. Il comprend dès lors que "les philosophes de part & d'autre avoient raison quant au fond ; que tout le mal tenoit de ce qu'ils attribuoient à leurs adversaires des opinions qu'ils n'ont pas, & que toute cette dispute n'étoit qu'une question de mots ; les partis opposés donnant au mot de force des sens différens" (Vol. 2, préface, ii). Ce n'est donc pas sous l'influence de D'Alembert⁵⁵⁰ que Desaguliers s'est forgé son opinion, mais bien de Gravesande.

Nous n'allons pas revenir en détail sur les conceptions de Gravesande, d'autres l'ont fait ailleurs.⁵⁵¹ Nous nous contenterons d'en donner l'idée. Une expression telle que *force des corps en mouvement* est ambiguë, dit-il en substance, car la seule manière de mesurer cette force passe par l'effet qu'elle engendre. La force ne se manifeste donc jamais en tant que telle, mais en tant qu'effet. Reste à savoir ce qu'on appelle effet. Les camps ne sont pas d'accord et interprètent la *force* différemment pensant que l'autre en a la même définition. C'est en ce sens qu'il s'agit d'une *dispute de mots*. Mais si ce n'était que cela, ce débat n'aurait pas fait s'affronter les plus grands philosophes pendant plus d'un demi siècle. Et Gravesande le dit : "on verra que ce qui n'était d'abord qu'une dispute de mots devient une dispute sur la chose même".⁵⁵² Les tenants de *mv* font une confusion dans la question des chocs, en ce qu'ils croient mesurer une force dont la définition est différente de leurs précédentes assertions. Ce n'est pas tout, puisque chacune des mesures acquiert une légitimité plus grande suivant que l'on considère que les atomes de matière sont durs ou élastiques. En outre, le débat ne porte pas que sur la définition de ce qu'on doit appeler *force*. Il roule également sur le fait de savoir quelle expression est réellement conservée dans l'univers, *mv* ou *mv*². Le débat ne renvoie donc pas seulement au choix d'une définition, mais à des conceptions différentes de la matière, et au choix de concepts les plus pertinents à décrire l'univers. Ces questions sont extrêmement complexes et mêlées. Cette crise a cependant permis des interrogations profondes sur le sens physique à accorder aux équations.

⁵⁴⁹ Gravesande, Willem Jacob's, *Physices elementa mathematica experimentis confirmata, sive Introductio ad philosophiam newtonianam, auctore Gulielmo Jacobo 's Gravesande,...* Leidae : apud J. A. Langerak, 1742. Ed. 3a, 2 vol.

⁵⁵⁰ On connaît le fameux mot de D'Alembert dans la préface à son *Traité de dynamique* de 1743, dans laquelle le philosophe français, péremptoire, croit clore la dispute en la qualifiant de dispute de mots. Nous y reviendrons infra. Mais il est probable que Desaguliers, écrivant ce passage précisément en 1743, n'a pas encore eu connaissance de l'ouvrage du savant français.

⁵⁵¹ Hankins, dans Isis, *Séris dans Machine et communication, Eighteenth-Century Attempts to Resolve the Viva Controversy*, Thomas L. Hankins, Isis, Vol. 56, No. 3 (Autumn, 1965), pp. 281-297, Pierre Costabel, "S'Gravesande et les forces vives, ou des vicissitudes d'une expérience soi-disant cruciale", *L'aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré*, Paris, Hermann, 1964, p. 117-134, Jean-Pierre Séris, *Machine et communication*, 264-281.

⁵⁵² *Œuvres philosophiques*, 1774, tome 1, p. 255

Car il convient de le répéter, comme Hankins, par exemple, l'a déjà fait remarquer⁵⁵³ : chacune des parties en présence fait référence à des équations totalement compatibles entre elles. Les uns, (pour le dire vite, cartésiens et newtoniens, majoritairement français et anglais) se réfèrent à $\int F \cdot dt = \Delta(m \cdot v)$, tandis que les autres (pour le dire vite, les leibniziens), se réfèrent à $\int F \cdot dx = \Delta\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2\right)$. Mais la formule $F \cdot dx = m \cdot v \cdot dv$, était tout à fait connue de Varignon, Hermann, Euler, J. Bernoulli et D'Alembert. Et la formule $F \cdot dt = m \cdot dv$ était encore plus connue.⁵⁵⁴ Dès 1700, Varignon dérive l'expression $\int F \cdot dx = \frac{1}{2} \cdot v^2$, en considérant une masse unité.⁵⁵⁵ Ceci montre à l'évidence que si tout le monde semble d'accord sur les principes et leurs formulations mathématiques, celles-ci sont insuffisantes à décrire ce qui se passe *physiquement*. Il faut en passer par la création de concepts physiques permettant de donner du sens à ces expressions, et c'est ce sur quoi les savants ont si longtemps planché.

L'idée de Gravesande est que mv et mv^2 sont des mesures reliées à deux phénomènes mêlés dans la rencontre des corps et dans la pesanteur. Le premier, lié à la quantité de mouvement, est une expression de l'inertie. Le second, lié à la force vive, une expression du *pouvoir d'agir* : elle est "*la capacité totale d'agir, c'est à dire de produire effet [...] (259)*". Gravesande choisit d'appeler *force* cette seconde expression⁵⁵⁶, tout en admettant qu'il n'y a rien d'incompatible à ce qu'on donne le nom de force à mv , pourvu que l'on s'entende bien sur les termes. Ainsi,

"Tout corps en mouvement, qui, en exerçant son pouvoir d'agir, perd une partie de son mouvement, ne la perd que dans un certain tems : du moins dans les actions que nous connoissons ; & c'est de quoi il s'agit ici.

Mais dans une action qui dure pendant un temps, il y a deux choses à considérer. 1. la grandeur de l'action dans chaque moment infiniment petit, que nous nommons *Action instantanée*. 2. la grandeur de la somme de toutes ces petites actions, & que nous nommons *Action totale*" (258, l'auteur souligne).

Dans la dispute, les uns (newtoniens et cartésiens) appellent force l'action instantanée, et les autres (leibniziens), l'action totale.

« L'action totale est déterminée ; un corps qui a un certain degré de vitesse, de quelque manière qu'il perde son mouvement, ne le perdra qu'en produisant un effet déterminé, qui est toujours proportionnel au carré de la

⁵⁵³ Hankins p. 286

⁵⁵⁴ Cf. Hankins p. 286 pour les références des travaux des savants en question.

⁵⁵⁵ Sur Varignon, cf. BLAY, MICHEL, *La naissance de la mécanique analytique: la science du mouvement au tournant des XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF, 1992, BLAY, MICHEL, "De l'apparition subreptice des futures formules de conservation à l'occasion de l'algorithmisation de la science du mouvement au tournant des XVIIe et XVIIIe siècles", *Revue d'histoire des sciences*, 54, n° 54-3, 2001, pp 291-301.

⁵⁵⁶ Cf. *Oeuvres philosophiques*, 1774, tome 1, p.237 (*Essai d'une nouvelle théorie du choc des corps*), où cette différence est exprimée pour le choc des corps.

vitesse, quand on ne considère qu'un même corps, comme Mr. Huygens l'avoit déjà remarqué il y a près de quarante ans ; & quand il s'agit de différens corps, les effets sont comme les quarrés des vitesses, multipliés par les masses."

Plusieurs expériences le prouvent, que ce soit les expériences de billes tombant dans de la terre glaise, qu'il a lui même expérimentées, des forces fermant des ressort (Jean Bernoulli), ou des balles lancées verticalement. Les effets entiers sont toujours proportionnels à mv^2 ou v^2 (dans le cas de la pesanteur). Alors, si l'action est proportionnelle à l'effet, l'action totale à l'effet entier, et si on appelle force la capacité totale d'agir, c'est-à-dire de produire effet "*comment pourra-t-on nier que la Force soit proportionnelle au quarré de la vitesse multiplié par la masse*" ? (259)

Mais les cartésiens ont une idée différente de l'effet, puisque pour juger de la force par l'effet, il faudrait selon eux faire attention au temps que dure l'action. Ainsi, pour une balle de masse m lancée en l'air avec une vitesse initiale v , la force, et donc l'effet produit, est égale à mv . Mais ici, dit Gravesande, cette définition de l'effet ne représente que l'action instantanée. Pour avoir l'effet total, l'action totale, il faut multiplier mv par le temps que dure l'action. Dès lors, mvt représente l'effet total. Ainsi, quand on lance une même balle avec le double de vitesse que précédemment, elle parvient à une hauteur quadruple, mais après un temps double. L'effet instantané est double, l'effet total est quadruple. Les deux camps, donc, disent la même chose, simplement les uns mettent en avant mv , l'action instantanée, comme mesure de la force, là où les autres appellent force mv^2 , l'action totale.

Mais Gravesande précise tout de même qu'il est plus cohérent d'appeler *force* mv^2 plutôt que mv . La force n'est mesurable que par son effet, et pour Gravesande, peu importe le temps mis à accomplir cet effet :

on peut déterminer combien un vase contient d'eau, sans s'informer combien de temps on a mis à le remplir (p. 259)

Ce qui compte, c'est ce qu'on aura produit au final, donc l'action totale, et c'est pourquoi il préfère appeler force la quantité mv^2 , puisqu'elle désigne précisément ce qu'on va pouvoir produire totalement.

Néanmoins, l'action totale ne suit pas toujours la raison de l'action instantanée multipliée par le temps que dure l'action. En effet, l'action instantanée peut varier suivant bien des manières différentes au cours du temps que dure l'action, même si l'action totale est égale. Pour mettre en exergue cette difficulté, Gravesande propose l'expérience suivante : que l'on prenne deux boules de cuivre de masses M_a , M_b , tombant dans de la terre glaise avec des

vitesse d'impact V_a , V_b , telles que $M_a.V_a^2=M_b.V_b^2$. Les enfoncements seront égaux, et s'effectueront pendant des temps T_a et T_b .

Si l'on donne par exemple : $M_a = 4$; $M_b=1$; $V_a=1$; $V_b=2$, et que l'on suit la règle des tenants de mv selon laquelle l'action totale est proportionnelle à mvt , il faut donc que l'action totale dans le cas de la sphère A, soit égale à celle de la sphère B, soit $M_a.V_a.T_a=M_b.V_b.T_b$, et pour ce faire il faut que $T_a=1$ et $T_b= 2$ (c'est-à-dire qu'on obtient $4 \times 1 \times 1 = 1 \times 2 \times 2$). Il faut donc que le temps d'enfoncement de la sphère la plus rapide (B) soit aussi le plus long alors que l'enfoncement est le même. On peut alors se demander comment diable un objet initialement de vitesse double mette 2 fois plus de temps pour parcourir la même distance dans la terre glaise. D'après Gravesande, c'est précisément le contraire qui se produit : le mobile le plus rapide parvient en son enfoncement dans le temps le plus bref. Ainsi A s'enfoncera en un temps double de B. La définition des tenants de mv impliquerait donc que l'effet de A soit égal à 8, quand celle de B ne serait que de 2, alors que l'expérience les donne égaux.

Par ailleurs, dans les chocs, les partisans de l'ancienne opinion assimilent mv à une action totale et non une action instantanée. Il y a donc désaccord sur *la chose même*, comme le dit Gravesande. La quantité de mouvement n'est pas la mesure de *tout l'effet qu'on peut attendre*. Il faut poser le doigt là dessus : Gravesande donne sa préférence à la mesure de la force par mv^2 , parce que celle-ci représente en puissance tout ce que l'on va pouvoir produire.

Il y a donc deux choses. D'une part la quantité de mouvement caractérise l'inertie de l'objet, sa propension à persévérer dans le même état de mouvement et à transmettre ce mouvement. En présence d'une force, quelle qu'en soit la cause, sa variation comptabilise l'échange de mouvement qui a lieu. Cet échange se formule

$$\text{par : } \int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dt = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot dv = m \cdot (v_2 - v_1) = \Delta(m \cdot v), \text{ en remarquant } \sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

et $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ (selon les notations actuelles). Le mouvement est soit transmis, soit détruit au cours des actions, ce que symbolise actuellement la notation vectorielle de cette quantité. Ainsi, dans l'élévation de la pesanteur, c'est la suite des impulsions $F \cdot dt$ à chaque instant qui va détruire petit à petit ce mouvement, cette tendance à persévérer dans son état de mouvement.

D'autre part, la force vive caractérise le pouvoir d'agir du corps, sa capacité à produire un effet en se *consumant*, puisque c'est le terme employé constamment par Gravesande, suivant un usage initié par Huygens. Ces effets sont d'une nature différente que le mouvement

échangé ou détruit. Ici, il advient une *transformation*, d'une force vive en effet. L'effet, ce peut être l'enfoncement de corps inélastiques tels que la terre glaise, l'enfoncement des ressorts, et l'élévation dans la pesanteur. Les deux premiers sont des compressions. Ces effets sont caractérisables par le produit de la masse par la distance parcourue jusqu'à l'épuisement de la force. La force et l'effet ne sont donc pas échangeables l'une avec l'autre : ce sont des formes différentes. Mais ils sont commensurables, et donc rapportables l'une à l'autre. L'effet, à ce titre, est l'agent comptable de la variation de force vive :

$$\int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dx = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot v \cdot dv = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) = \Delta \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \text{ en remarquant}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{x}}{dt}.$$

C'est dans cette définition de l'effet que va se loger le concept de travail mécanique. La force vive se retrouve dans l'effet : elle est le coût de cet effet. Pour reprendre l'exemple de l'élévation de la pesanteur, Gravesande chausse des lunettes différentes que les partisans de l'ancienne opinion : il n'y voit pas la destruction d'un mouvement par une série d'impulsions $F \cdot dt$ contraires, mais la production d'un effet consistant à vaincre une résistance sur une distance finie, et nécessitant qu'une force soit consommée.

Changement de vitesse et échange de mouvement d'un côté, transformation de l'autre. Les deux surviennent ensemble et il est difficile de les démêler. Les chocs de balles molles (inélastiques) sont l'occasion pour Gravesande de montrer les deux effets concourants : d'une part le mouvement est échangé, mv reste constant ; d'autre part, mv^2 a été employée en partie à comprimer les parties, ce pourquoi on ne retrouve pas la même quantité de force vive après le choc.

Cette vision d'une force consommée pour produire un effet est particulièrement bien adaptée à une physique des machines en mouvement décrites par le travail produit et répondant à une logique de coût et de rendement. Elever des poids dans la pesanteur à l'aide d'une poulie par exemple, n'est pas un effet inertiel : la force, même en l'absence de tout frottement, doit constamment être renouvelée pour continuer à produire un effet. L'exercice d'une force ne peut donner qu'une quantité donnée d'effet, de travail. Bélidor ou Desaguliers dans son premier volume, l'ont bien compris, et ils n'utilisent jamais la quantité de mouvement mv pour décrire ces actions : s'ils parlent de "quantité de mouvement" c'est en fait pour désigner $F \cdot v$, qu'on appellerait aujourd'hui puissance.

Mais c'est la considération de phénomènes *réversibles* qui rend la chose plus palpable : les ressorts. Desaguliers met le doigt dessus, en montrant leur spécificité, comme

on l'a exposé. Dans ceux-ci en effet, la force reste contenue sous une autre forme que le mouvement, et cette force peut être restituée. L'effet, la compression, prend alors plus évidemment l'aspect d'une autre forme de la force, puisque la force ayant servi à le comprimer peut être restituée en débandant le ressort. Il faut donc que dans le ressort comprimé, la force subsiste d'une manière ou d'une autre. Le ressort en débandant, peut restituer la force vive sous la forme du mouvement, mais c'est au prix de son effet précédent (la compression) puisque précisément il se débande.

De manière pratique, c'est dans les machines à enfoncer des pilots dans la terre que Desaguliers voit sa logique du premier volume mis en défaut. Dans ces machines, l'enfoncement dans la terre, n'est pas proportionnel à mv , ni d'ailleurs à $P.v$. Et même si le temps d'enfoncement pouvait être mesuré, l'équivalence entre mv^2 et $m.v.t$ (avec v la vitesse au point d'impact, et t le temps d'enfoncement), n'aurait plus lieu, comme Gravesande le montre. C'est d'ailleurs, comme on l'a vu, la considération de ce problème qui fait buter Desaguliers et promettre une solution dans son second volume. Ainsi, quand W.J.'s Gravesande en 1729 raille les diatribes de Samuel Clarke à son encontre, disant :

Un grave théologien devrait-il se mettre en colère sur une question, qui tout au plus peut être utile pour la construction d'un moulin à foulon, ou de quelque machine semblable ; mais qui, certainement, n'intéressera jamais, ni la religion, ni l'état [?] (p. 254),

son propos n'est pas simplement ironique. La définition de la force et la question de sa conservation intéresse réellement le machiniste et l'ingénieur. Desaguliers en est la démonstration, pris dans les contradictions du calcul de l'effet qu'il peut attendre du travail des hommes employés aux moutons.

Cependant, le second volume de Desaguliers ne procède pas à une refonte des calculs des effets des machines sur la base de la force vive. En effet, il comprend *in extremis* l'équivalence des points de vue de l'ancienne et la nouvelle opinion, et la coexistence de deux types d'expression de la force dans les phénomènes de la nature. Après avoir modifié la première leçon du volume consacrée précisément à la querelle des forces vives, il est probable qu'il n'ait pas jugé pertinent de réécrire un volume dont on attendait déjà la suite depuis 10 ans, ni *a fortiori* le premier volume. Il avait d'autant plus de légitimité à ne pas le faire que l'utilisation de $F.v$ en lieu et place de la quantité de mouvement mv permet de fournir des prévisions sur le travail des hommes dont certaines des caractéristiques recouvrent celles d'un travail vu comme consommation de force vive, et où $m.v.t$ et mv^2 sont souvent équivalents.

Mais la porte était désormais ouverte à une physique des machines où puisse se développer toute la puissance du calcul de l'effet sous le schème transformatif de la force

vive. Daniel Bernoulli (cf. infra) élaborera des raisonnements pénétrants où la transformation d'une forme en une autre, de travail à force vive, sera possible, dans des circonstances précises. La conception d'un effet comme transformation et consommation d'une force porte en elle, si la conservation de cette force mv^2 est admise, des logiques de rendement et de production qui s'adaptent de manière troublante avec le problème de l'utilisation du travail des hommes dans un cadre productif. Ces aspects communs, croyons-nous, ne sont pas un hasard. Ils sont la traduction du rapprochement des problématiques théoriques et pratiques dans la recherche de descriptions qui puissent faire coexister science des machines, et plus largement logique productive, et science rationnelle. Coulomb, dont on connaît l'importance dans la constitution du travail mécanique depuis F. Vatin, ne s'y trompera pas, en citant Desaguliers et D. Bernoulli comme ses prédécesseurs.

Mais avant de parvenir à Daniel Bernoulli, il nous faut examiner un texte issu cette fois-ci non pas d'un ingénieur ou d'un praticien, mais d'un théoricien, à savoir D'Alembert. Afin de saisir toute l'originalité et la spécificité de la pensée de D. Bernoulli, dont nous parlerons au chapitre suivant, et ce qui différencie les Desaguliers et Gravesande du savant français, nous allons examiner pourquoi le travail mécanique n'émerge pas chez lui. Mieux : pourquoi il ne peut pas émerger.

3.E. D'ALEMBERT ET LA PREFACE DU TRAITE DE DYNAMIQUE. CONFUSION ?

Malgré⁵⁵⁷ la proximité temporelle de D'Alembert avec cet autre mécanicien qu'est Daniel Bernoulli (nous l'étudierons au chapitre suivant), les démarches que chaque auteur met en œuvre sont substantiellement différentes. Il est frappant de le constater à propos du concept de travail mécanique, dont un antécédent apparaît chez Daniel Bernoulli sous le nom de *potentia absoluta*, mais qui reste ignoré de la plume de D'Alembert. Nous suggérerons que la différence des objets d'études (théorique ou pratique) des savants, ainsi que la prégnance de la conception de l'équilibre ignorant les logiques de consommation et de production sont responsables de ce traitement différencié. De la sorte, cette étude de cas semble montrer que la mécanique de D'Alembert, systématique, ne pense pas le travail mécanique, parce qu'elle est aveugle à une conception de la nature en terme de dépense et de production.

“Confusion”, c'est le jugement de Thomas L. Hankins concernant la préface du traité de dynamique, au sujet de laquelle l'historien dénonce le peu de clarté du mathématicien en ces termes :

D'Alembert was particularly vulnerable, because his mechanics of hard-body impact and his denial of forces led him to measure all mechanical effects by change of momentum—even in statics where the momentum could only be ‘virtual’. The result was an almost inevitable confusion between work and momentum.⁵⁵⁸

D'Alembert passerait ainsi à côté du travail mécanique en le confondant avec le moment mv . Mais ce terme de “confusion” a-t-il un sens ? Il nous faut examiner le texte de D'Alembert pour comprendre de quoi il s'agit. Nous allons voir alors si confusion il y a, elle ne saurait être que temporaire, et concerne le fait qu'il propose au détour d'une phrase de remplacer la mesure de la force dans le cas du mouvement retardé, jusqu'ici donnée par la quantité absolue des obstacles mv^2 , par la somme des résistances, $\int F.dt$, soit ΔmV . Dire qu'il confond moment et travail, c'est supposer que ce dernier concept soit à disposition dans la science théorique de l'époque, or s'il est bien utilisé par Gravesande et d'autres, il semble qu'il ne recouvre pas pour D'Alembert un concept physiquement pertinent. On peut remarquer que son utilisation reste relativement confinée aux applications pratiques, car c'est là qu'il fait le plus sens. Expliquons ce que tout cela veut dire.

⁵⁵⁷ Ce paragraphe a été publié sous une forme antérieure in FONTENEAU, YANNICK, "D'Alembert et Daniel Bernoulli face au concept de travail mécanique", *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, XXVIII, n° 2, 2008, pp 201-220.

⁵⁵⁸ HANKINS, THOMAS L., *Jean D'Alembert: Science and the enlightenment*, New York, Philadelphia, London, Gordon and Breach, cop. 1990: 203-204.

3.E.a. PREMIERE APPROCHE

D'Alembert est, comme chacun sait, l'auteur du *Traité de dynamique*, œuvre majeure du 18^e siècle publiée pour la première fois en 1743⁵⁵⁹, puis rééditée en 1758. Nous allons en examiner la préface, dans sa première édition.

C'est l'occasion pour lui d'introduire son propos, d'une part en présentant le plan de l'ouvrage et en explicitant ses intentions, mais également en exposant et justifiant les choix épistémologiques à l'œuvre dans son ouvrage.

D'Alembert, tout d'abord, expose quelques considérations sur la différence entre Géométrie, Algèbre, et Mécanique, constatant pour cette dernière qu'on avait jusque là particulièrement négligé de réduire ses principes au plus petit nombre et aux plus simples possibles. De sorte qu'il se propose un double objet : reculer les limites de cette science en simplifiant ses principes (p. iv).

A la suite de cela, il se concentre sur le mouvement, disant que la géométrie ne considère dans celui-ci que l'espace parcouru, tandis que la mécanique y ajoute le temps, et que si par la seule application de la Géométrie et du calcul, on peut trouver les propriétés générales du mouvement, on ne peut cependant pas, par cette méthode, déterminer comment il arrive que le mouvement d'un corps suive telle ou telle loi, ce qui est la première question appartenant à la mécanique (p. viii). Pour résoudre tous les problèmes où l'on considère le mouvement d'un corps, nous dit-il, il faut et il suffit de faire appel trois principes : le principe de l'équilibre, celui de la force d'inertie, et celui du mouvement composé. C'est sur ceux-ci qu'il se propose de se baser dans son *Traité* pour expliquer toutes les lois du mouvement des corps, en toutes circonstances (p. ix-xv).

Ainsi il se refuse à utiliser le principe que la force accélératrice soit proportionnelle à l'élément de vitesse, et il ne prête aucune attention aux causes motrices. S'il procède ainsi, c'est que les trois principes dont il se sert ne lui semblent pas être sujets aux mêmes critiques que les précédents, en ce qu'ils ne font pas appel à des considérations métaphysiques. En effet, en ce qui concerne la proportionnalité de la force accélératrice à l'élément de vitesse, il la discrédite, affirmant qu'elle repose sur l'axiome "*vague et obscur, que l'effet est proportionnel à la cause*"(p. xi). De même, il nie tout caractère ontologique à la notion de

⁵⁵⁹ D'ALEMBERT, *Traité de dynamique* Nous utilisons ici cette première édition.

force, qui ne doit surtout pas être comprise comme inhérente au corps mais doit être restreinte à désigner un effet (p. xvi, par exemple)⁵⁶⁰.

On retrouve la même conviction dans l'article Force de l'*Encyclopédie*, dont il est l'auteur. Au sens premier, qui renvoie à l'expérience psychologique de l'effort, cette notion désigne "la sensation que nous éprouvons et que nous ne pouvons pas supposer dans une matière inanimée"⁵⁶¹. D'Alembert attribue à une sorte d'illusion anthropomorphique notre croyance en l'existence dans un être inanimé d'une puissance motrice :

Nous sommes fort enclins à croire qu'il y a dans un corps en mouvement un effort ou énergie, qui n'est point dans un corps en repos. La raison pour laquelle nous avons tant de peine à nous détacher de cette idée, c'est que nous sommes toujours portés à transférer aux corps inanimés les choses que nous observons dans notre propre corps⁵⁶².

Ainsi, poursuit-il, une fois transposée à des corps inanimés, la force désigne

un être métaphysique, différent de la sensation, mais qu'il nous est impossible de concevoir, et par conséquent de définir⁵⁶³.

Il n'est donc pas surprenant qu'il se refuse à prendre parti pour l'un ou l'autre camp dans la question des forces vives (p. xvi-xxii), à savoir si la *force* d'un corps en mouvement doit être mesurée par le produit de la masse par la vitesse au carré (mv^2), ou bien par la masse par la vitesse seulement ($m.v$). En effet, une force ne désigne pour lui qu'un effet. Cet effet peut se comprendre soit comme mouvement retardé (comme dans le cas d'un mobile jeté en l'air ralenti progressivement par la pesanteur), soit comme l'équilibre (dans le cas d'une balance, ou bien lorsque deux corps de même masse et de même vitesse se choquent frontalement, restant sans mouvement après le choc). Dans le premier cas, on constate que la hauteur atteinte est proportionnelle au carré de la vitesse avec laquelle on a initialement lancé le mobile. De même, le nombre de ressorts qu'un solide tombant en chute libre pourra enfoncer, sera proportionnel au produit de sa masse par sa vitesse au carré au moment de l'impact. L'effet, quand il s'agit du mouvement retardé, se mesure donc par mv^2 . Au contraire, quand deux corps se choquent et restent sans mouvement, on constate que le produit de leur masse par leur vitesse, est égal pour chacun. Ainsi dans ce cas où l'effet est l'équilibre, $m.v$ est une mesure pertinente des choses.

⁵⁶⁰ Cf. à ce sujet VIARD, "D'Alembert et le langage scientifique: l'exemple de la force, un malentendu qui perdure". Particulièrement p.95.

⁵⁶¹ D'ALEMBERT & DIDEROT, *Encyclopédie: FORCE*, 7, 111.

⁵⁶² *Ibid.*.

⁵⁶³ *Ibid.*

Pour D'Alembert, il n'y a donc pas de problème. On a affaire à deux effets de nature différente, l'équilibre et le mouvement retardé, et il n'y a donc aucune contradiction à ce qu'on ait deux mesures différentes pour ces deux types d'effet :

Au fond, quel inconvénient pourroit-il y avoir, à ce que la mesure des forces fût différente dans l'équilibre et le Mouvement retardé, puisque, si on veut ne raisonner que d'après des idées claires, on doit n'entendre par le mot de force, que l'effet produit en surmontant l'obstacle ou en lui résistant ? (p.xx)

Opinion très acceptable et tout à fait cohérente dans la vision des choses qu'il propose. Mais, avant de refermer la parenthèse qu'il a ouverte sur le sujet des forces vives, il conclut par une phrase dont on peut légitimement être surpris :

Il faut avouer cependant, que l'opinion de ceux qui regardent la force comme le produit de la masse par la vitesse, peut avoir lieu non seulement dans le cas de l'équilibre, mais aussi dans celui du mouvement retardé, si dans ce dernier cas on mesure la force, non par la quantité absolue des obstacles, mais par la somme des résistances de ces mêmes obstacles. [...] d'ailleurs en estimant ainsi la force, on a l'avantage d'avoir pour l'équilibre et pour le mouvement retardé une mesure commune [...] (p. xx, xxi)

Cependant, sans laisser le temps au lecteur de penser plus avant la question, il se reprend :

[...] néanmoins comme nous n'avons d'idée précise et distincte du mot de force, qu'en restreignant ce terme à exprimer un effet, je crois qu'on doit laisser chacun le maître de se décider comme il voudra là-dessus [...] (p.xxi)

Voilà qui est bien surprenant en effet, de discourir tout d'abord sur le fait que la force se mesure différemment suivant l'effet auquel elle est associée, puis d'affirmer que ces deux effets, finalement, pourraient bien avoir la même mesure, avant de revenir à son idée première. D'Alembert s'exprime souvent de manière peu claire, pour nous autres contemporains, car il est connu qu'il écrit "au fil de la plume", sans forcément revenir sur ses formulations. Pourtant, il est rarement incohérent. Comment donc comprendre ce qu'il cherche à faire ici?

Tout d'abord, il s'agit de comprendre dans les citations précédentes, ce qu'il appelle "quantité absolue des obstacles" et "somme des résistances". Ces expressions désignent des choses très précises, associées respectivement au mouvement retardé, et à l'équilibre. Revenons là-dessus.

3.E.b. OBSTACLE VAINCU ET RESISTANCE DE L'OBSTACLE

Pour ce faire, il nous faut bien comprendre la notion de force telle que l'envisage D'Alembert. Nous avons déjà dit qu'il considérerait la force non comme inhérente au corps mais simplement comme un effet, à travers le mouvement de ces corps. Mais il se montre plus précis :

Quand on parle de la force des Corps en Mouvement, ou l'on n'attache point d'idée nette au mot qu'on prononce, ou l'on ne peut entendre par-là en général, que la propriété qu'ont les Corps qui se meuvent, de vaincre les obstacles qu'ils rencontrent, ou de leur résister. (p. xvii-xviii)

Cette dichotomie entre obstacles que l'on vainc ou auxquels on résiste est essentielle :

Ce n'est donc ni par l'espace qu'un Corps parcourt uniformément, ni par le tems qu'il employe à le parcourir, ni enfin par la considération simple, unique & abstraite de sa masse & de sa vitesse qu'on doit estimer immédiatement la force, c'est uniquement par les obstacles qu'un Corps rencontre, & par la résistance que lui font ces obstacles. (p. xviii)

Ces obstacles peuvent être de trois sortes pour un corps en mouvement. Soit un obstacle insurmontable, qu'il ne pourra pas vaincre : on ne peut rien déduire de la force initiale de la pierre dans ce cas. Soit un obstacle qui anéantisse le mouvement du corps "en un instant", c'est-à-dire le cas de l'équilibre : ici on peut envisager de pouvoir mesurer la force des corps. Soit enfin un obstacle qui retarde peu à peu le corps, c'est ce qu'il appelle le mouvement retardé, permettant lui aussi de mesurer la force des corps.

Alors comment envisage-t-il exactement ces notions de mouvement retardé et d'équilibre ? En ce qui concerne d'abord le mouvement retardé, on n'en connaît bien que trois à l'époque :

- Soit un objet lancé dans le champ de pesanteur, et qui verra donc sa vitesse diminuée petit à petit jusqu'à atteindre sa hauteur maximale. On sait que la hauteur atteinte est proportionnelle au carré de la vitesse avec laquelle on lance l'objet, et ce depuis au moins Huygens.

- Soit un objet tombant sur des ressorts. Ici le retardement intervient pendant le contact de l'objet avec le ressort : la vitesse de l'objet diminue jusqu'à atteindre 0. Jean Bernoulli, dans son *discours sur les loix de la communication du mouvement* en 1724, a démontré que le nombre de ressorts fermés ou successivement ou en même temps par un corps était proportionnel à $m.v^2$. Donc si un corps de masse 1 et de vitesse 1 ferme un seul ressort, un corps de masse 2 et de vitesse 2 en fermera 8.

- Soit enfin des objets tombant dans de la terre glaise, suivant les expériences réalisées quelques années auparavant par W.J.'s Gravesande⁵⁶⁴ (cf. supra). Ici aussi les profondeurs auxquelles les objets parviennent à s'enfoncer sont proportionnelles à $m.v^2$.

⁵⁶⁴ GRAVESANDE, WILLEM JACOB'S *Eléments de Physique ou introduction à la philosophie de Newton*, Trad. par VIRLOYS, C. F. R. D., Paris, Jombert, 1747. On a pris pour l'auteur la forme orthographique internationale selon le modèle de la BnF.

Dans ces trois cas les *obstacles* désignent la pesanteur, des ressorts, et de la terre glaise. Ils ne sont pas mesurables en l'état. La *quantité absolue des obstacles*, elle, est une notion plus précise puisqu'elle désignera alors respectivement :

- soit la *distance* à laquelle le corps s'élève (en quelque sorte le "nombre d'unités de longueur"), qui est, comme on vient de le dire, proportionnel à v^2 ;
- soit le *nombre* de ressorts identiques enfoncés ;
- soit enfin la *profondeur* à laquelle s'enfoncent des objets dans de la terre glaise ;

La *quantité absolue des obstacles* sera donc proportionnelle à la quantité mv^2 .

Le cas de l'équilibre, quant à lui, peut avoir lieu dans deux conditions :

▪ La première correspond par exemple à une balance équilibrée comme sur la Figure 43. On peut certes définir l'équilibre par la relation bien connue $M1/M2 = H2/H1$, mais on peut aussi recourir aux vitesses virtuelles, c'est-à-dire



Figure 43 : une simple balance en équilibre

les vitesses qu'auraient les objets si soudainement les corps étaient libérés de leurs contraintes. Le produit de la masse par la vitesse virtuelle, mv , est dans ces conditions une mesure pertinente de l'équilibre. Il convient de

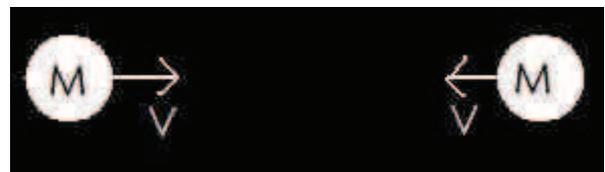


Figure 42 : Deux corps de même masse, et de même vitesse arrivant l'un sur l'autre.

concevoir ici que cette définition correspond bien à ce qu'a dit D'Alembert auparavant de l'équilibre conçu comme mouvement "anéanti dans un instant" : à chaque instant les tendances au mouvement de M1 et M2 s'anéantissent, empêchant d'acquérir la vitesse virtuelle correspondante.

▪ Mais D'Alembert utilise aussi la notion d'équilibre pour désigner un deuxième cas : celui de deux corps qui se choquent et qui restent sans mouvement après ce choc. Le cas le plus simple consiste en deux mobiles de même masse qui arrivent l'un sur l'autre dans le même axe et avec la même vitesse (Voir Figure 42). Donc si chacun des produits des masses par les vitesses (réelles ici) est identique pour les deux corps, on se trouvera dans une situation d'équilibre.

Dans ces deux cas, les corps “résistent” à l’obstacle mais ne le vainquent pas. La force des corps va se mesurer ici par leur résistance aux obstacles, à savoir la quantité de mouvement, mv .

Jusqu’ici l’effet, équilibre ou mouvement retardé, est associé aux situations physiques d’un corps résistant à un obstacle ou surmontant l’obstacle, et détermine la manière dont on doit mesurer la force du corps, mv ou mv^2 . Puis à la suite de cela, comme nous l’avons déjà cité, D’Alembert affirme :

Il faut avouer cependant, que l’opinion de ceux qui regardent la force comme le produit de la masse par la vitesse, peut avoir lieu non seulement dans le cas de l’équilibre, mais aussi dans celui du mouvement retardé, si dans ce dernier cas on mesure la force, non par la quantité absolue des obstacles, mais par la somme des résistances de ces mêmes obstacles. (p. xx)

Il précise qu’en effet la quantité de mouvement est proportionnelle à la “somme des résistances”, si par cette dernière expression on entend $\int F.dt$, avec F la force en jeu, et dt l’élément infinitésimal de temps puisque

[...] de l’aveu de tout le monde, la quantité de Mouvement que le Corps perd à chaque instant, est proportionnelle au produit de la résistance par la durée infiniment petite de l’instant, & [...] la somme de ces produits, est évidemment la résistance totale. (p. xx, xxj)

Autrement dit $\int F.dt = \Delta mV$. Il poursuit :

Toute la difficulté se réduit donc à savoir si on doit mesurer la force par la quantité absolue des obstacles, ou par la somme de leurs résistances. Il me paroîtroit plus naturel de mesurer la force de cette dernière manière ; car un obstacle n’est tel qu’en tant qu’il résiste, & c’est, à proprement parler, la somme des résistances qui est l’obstacle vaincu : d’ailleurs, en estimant ainsi la force, on a l’avantage d’avoir pour l’équilibre & pour le Mouvement retardé une mesure commune (p. xxi)

Ce que D’Alembert fait ici, c’est qu’il propose de remplacer la mesure de la force dans le cas du mouvement retardé, jusqu’ici donnée par la quantité absolue des obstacles mv^2 , par la somme des résistances, $\int F.dt$, soit ΔmV . Mais c’est là où apparaît une confusion *temporaire*. Car il nous dit qu’un obstacle n’est tel qu’en tant qu’il résiste, et que c’est la somme des résistances qui est l’obstacle vaincu. De la sorte il désolidarise l’obstacle vaincu de sa mesure en terme de quantité absolue d’obstacles, ce qui était sa méthode jusque là, et propose que cet obstacle vaincu, au final, puisse se mesurer par la somme des résistances. Or une résistance est typiquement ce que subit un corps en équilibre, comme il nous l’a exposé précédemment. Il s’agit donc ici de considérer que le corps, dans le cas du mouvement retardé, vainc successivement chacune des résistances opposées à son mouvement, et qu’en en faisant la somme, nous aurons une mesure de l’obstacle vaincu. Mais *l’obstacle vaincu suppose au contraire que sa résistance ait été surmontée, donc que l’équilibre ait été rompu*. L’équilibre n’est plus tel si on le rompt.

On trouve plus de cohérence au discours de Gravesande (cf. supra), qui raisonne non pas en termes d'équilibre et de mouvement retardé, mais qui voit en lieu et place l'action instantanée et l'action totale, traduisant des phénomènes physiques aussi différents que la transmission/destruction de mouvement et la transformation d'une force en un effet.

La mesure de la force est à ce moment-ci de son discours, disjointe de l'effet envisagé, équilibre ou mouvement retardé, et cette manière d'envisager ce dernier comme le fait de surmonter une série d'équilibres, lui fait proposer une mesure unique pour les deux effets. Mais, comme hésitant, il referme cette ébauche et ne cherche pas à imposer cette tentative unificatrice, en énonçant immédiatement après :

néanmoins comme nous n'avons d'idée précise & distincte du mot de *force*, qu'en restreignant ce terme à exprimer un effet, je crois qu'on doit laisser chacun le maître de se décider comme il voudra là-dessus ; & toute la question ne peut plus consister, que dans une discussion Métaphysique très-futile, ou dans une dispute de mots plus indigne encore d'occuper des Philosophes. (p.xxi)

3.E.c. L'INTERPRETATION PHYSIQUE DE $\int F.DX$ N'EST PAS CLAIRE DANS LA MECANIQUE THEORIQUE DE L'EPOQUE

Il nous semble pouvoir expliquer cette confusion temporaire par ce qu'on pourrait appeler une lacune physique, cependant non propre à D'Alembert seul.

On sent que D'Alembert regrette cette différence d'effet : sa proposition est sans doute l'expression d'une insatisfaction de devoir analyser différemment des effets dont tout ce que l'on voit (du moins pour D'Alembert) est que leur mouvement est modifié. Alors il propose que dans le cas du mouvement retardé, on n'en passe plus par la quantité absolue des obstacles (Gravesande dirait l'action totale, ou "tout ce que la force est capable de produire"), mais la somme des résistances $F.dt$. En somme, la conception de D'Alembert d'une matière sans force se révolte devant cette anomalie : le mouvement devrait toujours pouvoir s'analyser en toute occasion comme une modification du mouvement, par exemple par exercice d'une série d'impulsions contraires dans le cas de l'élévation dans la pesanteur.

Il semble alors que la notion d'*obstacle vaincu* en termes de $F.dx$ ne soit pas employée par D'Alembert, précisément parce qu'il ne lui reconnaît pas de statut, de sens physique cohérent avec le reste de son système. Tout comme Gravesande trouve plus naturel d'appeler force la quantité mv^2 en ce qu'elle représente la capacité totale d'effet qu'elle est susceptible de produire, montrant ainsi sa préférence pour une physique basée sur une logique de production, de dépense, et de consommation, D'Alembert montre sa préférence pour une mesure de l'effet en termes de $m.v$ et $F.dt$, axée sur la considération du seul mouvement et de

sa modification dans un schème d'équilibre, où les conceptions de Gravesande n'ont tout simplement aucun sens.

Ceci ne lui permet pas de se rendre compte de l'importance de la notion de distance dans ce cas précis : il propose qu'un obstacle vaincu soit une somme de résistances ; or une résistance, dans la définition qu'il en fait, suppose précisément que l'obstacle ne soit pas vaincu mais simplement qu'on lui résiste, à l'équilibre, ce qui n'implique pas qu'une distance soit parcourue. Les conceptions de D'Alembert ne permettent pas de se rendre compte de ce qui se passe physiquement, et pourquoi diable ces deux effets sont différents. Gravesande, en les rapportant à l'inertie et à la transformation de force, nous semble bien plus pénétrant.

Il semble donc clair que $\int F \cdot dx$ ne recouvre rien physiquement dans l'esprit de D'Alembert et qu'aucun concept de travail mécanique n'est associé à une telle expression. Cependant, si tel est le cas, c'est que la notion non seulement n'est pas claire dans la science théorique d'alors, restant relativement cantonnée à la sphère soit expérimentale (W.J.'s Gravesande), soit pratique (D. Bernoulli), mais en outre qu'elle n'a de pertinence à l'époque que dans une conception de la physique faisant intervenir la dépense, la production et la consommation de la force. Des conceptions admirablement adaptées à des problématiques où interviennent la force des hommes et leur utilisation optimale, mais relativement inutiles dans une physique qui ne voit dans le mouvement que... du mouvement et rien d'autre. D'Alembert est aveugle à une quelconque notion de force, et donc également à une idée de changement de forme, impliquée par la consommation et la transformation de la force en un effet qu'on peut appeler travail, et qui forme le fond épistémologique des conceptions de Gravesande, de D. Bernoulli ou du second Desaguliers.

Par ailleurs, Hankins a montré que les "élèves" de D'Alembert, Bézout et Bossut, utilisent une quantité de mouvement (produit poids-vitesse) pour expliquer l'équilibre sur une machine⁵⁶⁵ : Bézout, en effet, tentait de fonder une théorie complète des machines, qui lui aurait permis de comparer les "travaux" effectués par différents agents, par exemple un homme tournant une manivelle et un cheval marchant dans une roue de moulin. Selon Bézout l'effort d'un homme supportant un poids est égal à la quantité de mouvement résultant de la masse du corps multipliée par la vitesse que le poids lui donne en un instant. Il ajoute qu'il est clair que si cet homme était capable seulement de cet effort, l'équilibre ne se ferait que dans le

⁵⁶⁵ HANKINS, THOMAS L., "Eighteenth-Century Attempts to Resolve the *Vis viva* Controversy", *Isis*, 56, n° 3, 1965, pp 281-297: 285-286, HANKINS, Jean D'Alembert: *Science and the enlightenment*: 203-204. L'auteur cite BEZOUT, ETIENNE, *Cours de mathématiques à l'usage des gardes du pavillon et de la marine*, vol. 5, Paris, 1767-1795: 440.

premier instant, car dans le second, le poids renouvelle l'action détruite dans le premier. A chaque instant un moment est absorbé par le poids et ce moment est apporté par l'homme le supportant. Ainsi l'effort de l'homme est mesuré par le "moment virtuel" transféré au poids. En termes modernes, ceci peut s'écrire $\int F \cdot dt = \int \partial(m \cdot v)$: l'effort est égal à la force multipliée par le temps durant lequel la force est exercée. Dans la section suivante, Bézout applique cette mesure aux machines simples. D'après Hankins, ceci revient à dire que l'ouvrier n'exerce pas plus en s'appuyant simplement sur le levier de sa machine qu'en le tournant pour élever un poids pesant. Il mesure l'"input" de la machine par son impulsion (F.dt) plutôt que par son travail (F.dx), ce qui le mène, aux dires de Hankins, à des conclusions absurdes.

Christophe Schmit note que de telles remarques valent aussi pour Trabaud. Ce dernier énonce que lorsque deux poids sont entre eux dans le rapport inverse des bras de levier, « *ils tendent à être mûs avec des quantitez égales de mouvement* ». Les vitesses sont comme les arcs décrits par les extrémités des bras, et dans le même rapport que leurs longueurs. Ainsi, ces vitesses « *sont entr'elles réciproquement comme les poids ou leurs masses ; donc les quantitez de mouvement sont égales* ». Trabaud note encore que les poids « *sont sollicités à prendre des quantitez égales de mouvement, ou tendent à être mûs avec des forces égales* » ; que « *puisque les quantités de mouvement sont égales, les vitesses sont dans la raison réciproque des masses* », ou que « *les poids sont dans la raison des masses* »⁵⁶⁶.

Le statut de F.dx est donc loin d'être clair à l'époque, et ces quelques exemples, D'Alembert, Bézout, Trabaud, semblent illustrer l'hypothèse qui court à travers toute cette thèse, à savoir que la conception de l'équilibre, notamment dans les machines, a agi comme un obstacle épistémologique important vis-à-vis du développement des notions de travail mécanique. Pourquoi ? C'est qu'une conception de la matière et de son mouvement comme équilibre ou suite d'états d'équilibre, implique un traitement en termes d'équivalence de deux applications, occasionnellement en termes de transmission/destruction de mouvement (comme dans le cas de la collision frontale de deux billes de même quantité de mouvement), mais pas d'allocation de force à la production d'un effet, de rendement ou de transformation, qui est à la base d'une physique du travail.

Le concept de travail mécanique, ou plutôt ses antécédents, ont d'abord été très liés à des problématiques de production, où le travail produit et la force utilisée, étaient au centre de

⁵⁶⁶ TRABAUD, *Principes sur le mouvement et l'équilibre, pour servir d'introduction aux Mécaniques & à la Physique* Paris, J. Desaint et C. Saillant., 1741: 293, 300. Cité par SCHMIT, "Equilibre et dynamique": 391-392.

la description. C'est ce qu'on a vu au travers d'Amontons, Parent, Bêlidor, Desaguliers... et que nous retrouverons avec Daniel Bernoulli au chapitre suivant. On verra en effet que son concept de *potentia absoluta*, antécédent du concept de travail mécanique, sera également très lié à une problématique pratique, malgré une volonté réelle de raccorder mécanique théorique et mécanique pratique et une réussite partielle de ce projet.

3.E.d. LES CARACTERISTIQUES DE L'APPROCHE DE D'ALEMBERT

D'Alembert n'est donc pas amené à utiliser un concept de travail mécanique, pour des raisons liées à son épistémologie propre, et à un esprit qui se refuse à penser la matière autrement que par ses changements de mouvement, excluant les ésotériques changements de forme. Plus largement, c'est dans le caractère hétérogène des notions de production, de coût, de dépense, d'avec la physique théorique de l'époque qu'il faut chercher l'absence de création ou d'utilisation d'une notion de travail mécanique en dehors de milieux où celle-ci fait sens, c'est-à-dire des milieux qui mettent la machine, le travail et la production au centre de leur description (D. Bernoulli), ou non loin de là (Gravesande).

D'une part, le travail étant lié, comme on l'a vu à plusieurs reprises, à une représentation de l'effort physique, et D'Alembert refusant tout anthropomorphisme, comme on l'a vu au sujet de la force, il est logique qu'il ne fasse pas appel à une notion qui contredise ses présupposés.

Deuxièmement, D'Alembert cherche à construire une mécanique *a minima*, pourvue du plus petit nombre de principes possibles, car "*les principes en sont d'autant plus féconds qu'ils sont en plus petit nombre.*" (p. iii). Dans ces conditions, créer de nouveaux concepts, surcharger encore l'édifice ne va pas dans le sens, d'après D'Alembert, d'un éclaircissement.

Troisièmement, l'importance de la notion d'équilibre, et sa tendance à se représenter son sujet comme une succession d'états d'équilibre⁵⁶⁷, l'empêche de concevoir les choses par le biais du parcours spatial d'une force.

Mais surtout, c'est que cette notion de travail, si elle existe dans la science des machines, est tout à fait extérieure à une représentation théorique de la nature, à l'époque. Ne s'appliquant pour l'heure qu'à la description d'ouvrages mettant en œuvre l'effort des hommes, ou à la rigueur la force des fluides mais par la médiation d'une machine productive, elle semble curieusement rester à distance d'un monde théorique ou du moins reste préférentiellement utilisée par des milieux et des recherches expérimentales et pratiques.

⁵⁶⁷ Cf. FIRODE, ALAIN, *La dynamique de D'Alembert*, Montréal/Paris, Bellarmin/Vrin, 2001

3.F. CONCLUSION

Que retenir de ces regards croisés entre un technologue, un ingénieur, un newtonien vulgarisateur, et un théoricien systémiste au sujet de la constitution du travail mécanique?

3.F.a. DIALECTIQUE HUMAIN-MECANIQUE

Le premier point émergent de ces études concerne la dialectique humain-mécanique à la base du concept de travail mécanique. Il s'exprime par trois aspects.

3.F.a.i ASPECT ANTHROPOMORPHIQUE DU TRAVAIL MECANIQUE

Le premier aspect de ce premier point concerne l'aspect anthropomorphique du travail mécanique : bien loin de se réduire à calculer les machines, il est d'abord représentatif du travail humain et y reste constamment attaché. On l'observe à plusieurs reprises. On a ainsi eu l'occasion de remarquer que les paramètres entrant en jeu dans la formule choisie pour le représenter, sont des paramètres phénoménaux de la fatigue. Par ailleurs, la quantification du travail par PV sert, entre autres, un but de comparaison des agents producteurs avec l'homme. Il est l'étalon de la quantification du travail, parce que c'est par rapport à lui que les évaluations des autres agents prennent un sens économique. Le calcul mécanique sert ici la comparaison économique, ceci est frappant chez Bélidor par exemple. En outre, comme on a pu l'observer dans la description de la machine à feu par l'ingénieur français, la machine productive, en tant qu'elle produit un effet, est assimilée à un humain au travail. L'effet de la machine, symbolisé par la pseudo quantité de mouvement PV, est alors vu comme l'équivalent formel de cette notion qui embrasse toujours l'organique. Les antécédents du concept de travail sont teintés de la chair et des muscles de ceux qui le produisent en le payant de leur peine et de leur fatigue. Ce contact favorise la compréhension du travail de la machine et du travail mécanique, à être la dépense d'une force. Par ce biais, la machine offre la possibilité d'une intégration de la force vive à la description du fonctionnement de la machine. Cette idée de dépense, de consommation de la force, est déjà présente chez Leibniz, mais maintenant, associée à la machine au travail, elle va permettre l'assimilation du travail mécanique à un effet résultant du coût représenté par la consommation de force vive. On en voit les prémisses chez Desaguliers, et D. Bernoulli en permettra une véritable expression.

3.F.a.ii ASPECT MECANIQUE DU TRAVAIL ORGANIQUE

Mais dans le même temps, et c'est le second aspect, les caractéristiques du travail mécanique, même conçus après le détour organique, sont teintées de logiques fatalement mécaniques. Le prix de la possibilité de son analyse par le calcul en passe par une certaine réduction. Ainsi, on choisit de rapporter le travail, tous les travaux, à un poids qu'on élève. En retour, on devient progressivement aveugle à des formes de travail qui ne soit pas mécaniques, ou du moins on tend à les assimiler à du travail mécanique. Desaguliers le montre bien, quand il insiste sur le fait qu'un ouvrier apportant un bac d'eau par l'escalier, ou en utilisant une pompe, fait le même travail. Cet aspect ci n'est pas fondamentalement nouveau, mais gagne en ampleur. Ce qui l'est beaucoup plus, c'est qu'on assiste avec Bélidor aux conséquences logiques d'une telle idée. En effet, cette réduction du travail à n'être que mécanique implique en retour des procédures et des méthodes de travail, où celui-ci ne soit plus que mécanique. Le but est clair : optimiser, et prévoir.

3.F.a.iii CONSEQUENCE : RECHERCHES DE NORMES

Alors, troisième aspect, éclate ce qui n'était encore qu'en germe à l'Académie des Sciences à l'entre deux siècles : le fait qu'il est porteur de normativité. En effet son calcul, qui doit permettre l'action et la prévision *a priori*, suppose que l'on connaisse par avance ce que l'on peut attendre. Il faut donc en passer par une moyenne, une normalité, sous lesquelles doivent se fondre la multitude des aptitudes physiques. On ne parle ainsi jamais dans ces années des différences morphologiques et des différentes aptitudes physiques des ouvriers ou des chevaux. On prend toujours un homme ou un cheval *normal, accoutumé au travail* en question, supposant que chacun est substituable à un autre. Les hommes doivent pouvoir être remplacés par d'autres hommes et mieux : les hommes ou tout autre agent producteur doit pouvoir être remplacé par n'importe quel autre agent. Le travail est ce qui reste quand on a substitué les agents producteurs les uns aux autres. Il suppose donc d'être impersonnel et d'en pouvoir calculer une norme identique pour tous, ou pour chaque type d'agent producteur. C'est dans cette optique que doivent être replacées par exemple toutes les recherches sur les forces des animaux menées par Bélidor et Desaguliers.

3.F.b. EQUIVALENCE, TRANSMISSION, TRANSFORMATION

Le second point remarquable est que ce sont les problématiques liées au travail, à son calcul et son optimisation, qui font émerger une conception de la machine comme siège d'une transmission, puis d'une transformation.

3.F.b.i DEBUT D'UNE REPRESENTATION DU TRAVAIL COMME TRANSFORMATION DE LA FORCE

Premier aspect : la manière de se représenter le travail mécanique change dans ces années là, pour se rapprocher d'une représentation en termes de transformation de force en effet productif, et c'est chez Desaguliers qu'on commence juste à la réduire à la formalisation. Cette ébauche est une conséquence de l'influence de Gravesande sur lui, et donc issue d'une tradition leibnizienne. Il importe de noter que c'est notamment une problématique de l'accumulation et de la conservation de la force sous des formes autres que le mouvement (ressort), qui amène Desaguliers à évoluer dans ses opinions. Mais le fait d'insérer cette conceptualisation dans un contexte productif tel que les machines au travail, permettra de parvenir à ce à quoi Leibniz n'était pas sensible : la différence entre l'effet et la force qui le cause, dont le rapport traduira le rendement et la productivité. Ces notions, bien sûr, ne sont qu'en germe chez Desaguliers, et encore mal comprises. Sous ce point de vue, Daniel Bernoulli fera beaucoup mieux, et (pour une part) sensiblement plus tôt.

3.F.b.ii CONCEPTION TRANSMISSIVE

Avant cela, c'est le deuxième aspect de ce second point, on discerne bien chez les trois premiers auteurs (du moins en 1737 pour ce qui concerne Pitot), une transmission de la force à travers la médiation constituée par la machine. Délaissant les incertitudes où Amontons était encore (dans son moulin à feu, la question de la différence entrée/sortie n'a pas de pertinence), les auteurs donnent à voir un PV qui se transmet, se perd, bref que l'on a la même chose, bien qu'amoindrie, en sortie qu'en entrée. Entre les deux, il y a du *déchet* dit Bélidor. A vrai dire, du moins c'est notre interprétation, c'est précisément parce qu'ils sont dans une logique de production, de coûts, et que s'exprime dans ce cadre la nécessité pour le calcul de mettre en rapport un produit avec une dépense, que PV, de par ses qualités et propriétés mathématiques au sein de la machine notamment, va se voir confier les attributs du travail et

une représentation en forme de transmission. La transmission, c'est la condition qui permet le calcul non seulement du travail, mais de son rendement.⁵⁶⁸

L'autre condition, c'est la *conservation*, et c'est pourquoi en dernière analyse, les débats sur savoir ce qui se conserve dans la nature vont se mêler au problème des machines. C'est pourquoi, selon nous, le produit F.V, hérité en partie d'une conception galiléenne de la machine, et qui se contentait fort bien de n'être qu'un invariant, va être désormais appelé *quantité de mouvement*. C'est l'aspect *conservatif* qui est ici particulièrement apprécié des mécaniciens du travail parce que la conservation est la condition de tout calcul de rendement.⁵⁶⁹

C'est toujours dans ce deuxième aspect de ce second point qu'est à placer le fait que le travail, encore plus nettement chez Bélidor que chez les autres, devient le liant intégral de la machine et de tout opérateur au travail. C'est du travail que l'on a à l'entrée, du travail qui est transmis et perdu dans la médiation, et du travail encore qui se retrouve dans le produit, jusqu'à permettre de calculer la quantité de blé fournit par un moulin, par proportionnalité de ce dernier avec la quantité PV de la sortie.

Il devient ainsi le fondement du régime de vérité de la machine et des opérateurs : c'est par le calcul du travail mécanique que va se former le jugement sur les machines, tout comme, de plus en plus, les agents organiques vont être jugés et payés sur la quantité fournie de travail mécanique.

3.F.b.iii L'EQUILIBRE ET LES PROCEDURES STATIQUES REPENDENT A D'AUTRES LOGIQUES QUE LA PHYSIQUE DU TRAVAIL

Troisième aspect de ce second point, et c'est D'Alembert, qui le montre ici le mieux, par contraste: l'équilibre ne permet pas à une physique du travail d'exister. Pitot en 1737, Bélidor dans la collision qu'il effectue entre les logiques d'Amontons et de Parent, Desaguliers et sa conception de force condensée, tous donnent à voir des machines ou des agents dont le travail se transmet. On a dit à quel point cette conception était influencée par une vision laborieuse des machines et des agents. D'Alembert, lui, continue à assimiler les

⁵⁶⁸ Un rendement qui ne s'approchera de notre version moderne qu'à partir du moment où il intègre la considération des frottements. C'est toute la différence entre machine parfaite au sens où Parent l'entend (impossibilité de récupération de tout le travail à cause des contraintes structurelles), et encore un peu Pitot, et la machine idéale (au sens de D. Bernoulli, c'est-à-dire dont le rendement puisse être idéalement 1 si par l'esprit on annule tous les frottements et déperditions) qui déjà pointe chez Bélidor sous une forme hybride.

⁵⁶⁹ On ajoutera à cela que la notion de quantité de mouvement permet plus facilement une interprétation en termes de substance transmise qu'un invariant FV qui, lui, se rapporte manifestement beaucoup plus à une représentation géométrique, et donc à une conception d'équilibre et de duels des forces ou des efforts.

choses à des forces qui se détruisent, en remplaçant le mot de force par celui de mouvement. Des mouvements s'affrontent. Si D'Alembert n'utilise pas de telles conceptions, outre les aspects liés à son épistémologie propre, c'est qu'il n'en a pas besoin. Il n'a pas besoin de calculer l'activité des hommes, leur travail, ou celui de bêtes, et d'y rapporter les effets des machines. Ces questions ne le concernent pas. Il n'a aucune raison d'introduire de telles idées sur la force, et de faire jouer à PV le même rôle que chez Pitot, Bélidor ou Desaguliers, qui vivent et pensent sous le schéma de la production.⁵⁷⁰ Sa conception du mouvement comme suite d'états d'équilibre est parfaitement adaptée à sa vision de la mécanique, qui plus est axiomatique.

3.F.c. DISCOURS SUR LES LIMITES ET LA REGULATION

Troisième et dernier point, c'est le discours sur les limites qui animent Pitot, Bélidor et Desaguliers. On ne *peut pas* faire certaines choses. On ne peut pas produire plus que ce qu'on a en entrée. On ne peut pas passer une limite, l'optimalité. Ce discours sur les limites se place autant sur l'impossibilité du mouvement perpétuel (lié aux aspects conservatifs de la force motrice, dont la définition est justement en débat au sein de la querelle des forces vives), que dans une problématique plus large de régulation. Une régulation à prendre en trois sens, liés.

D'abord c'est une régulation pratique, au sens où elle est le reflet de problématiques pratiques. Les limitations des sources et la demande croissante, associées à la conscience de la limitation de l'effet par la capacité du moteur, impose une démarche d'optimum dans le but d'atteindre au maximum du rapport sortie/entrée. L'amélioration des pompes du pont Notre-Dame par Bélidor, sous la pression d'une demande plus forte, en est un exemple.

Ensuite, c'est une régulation technologique : il faut réguler la machine, la désigner et la faire agir suivant les lois naturelles qu'on lui découvre, afin qu'elle puisse donner tout ce dont elle est capable.

Enfin, c'est une régulation sociale : *il faut protéger la société des fripons et des ignorants*. Pitot, Bélidor, et Desaguliers le disent, dans une optique qu'avait déjà Parent. Ils ruinent les acheteurs et les entrepreneurs. Calcul est alors synonyme d'économie pour eux. La démarche d'optimisation a donc une fonction sociale, peut-on dire. D'autant plus que la

⁵⁷⁰ Ceci ne signifie pas que D'Alembert ne connaisse rien aux machines. Il est parfois nommé pour expertiser des machines. Mais il ne les analyse que sous le schéma du mouvement. Il faut dire que D'Alembert est dans un projet systémique de réductions des concepts au plus petit nombre qui soit, souhaitant déduire toute la mécanique d'un petit nombre d'axiomes. Dans ces conditions, il n'y aurait pas de sens de faire jouer au travail un rôle central, comme chez ces autres auteurs.

conception du travail qui ainsi se dessine permet plus facilement un contrôle de la quantité de travail, comme le compte-tour de manivelle de Bélidor en est la démonstration frappante.

Le travail mécanique a donc une origine : la dialectique entre humain et mécanique ; et une fonction : calculer, prévoir, pour économiser et maximiser. Pour cela, il est nécessaire de concevoir les machines au moins comme le siège d'une transmission, pour pouvoir mettre en rapport une sortie avec une entrée. La conception de la force vive, parce qu'elle peut s'adapter à un cadre productif va être ensuite investie par une conception de l'effet comme dépense de force. Ces logiques s'insèrent dans un discours plus large sur la régulation.

Chapitre 4 TRAVAIL, FORCE VIVE ET FATIGUE DANS L'ŒUVRE DE DANIEL BERNOULLI (1738-1753) : GERER L'HUMAIN.

4.A. INTRODUCTION

L'histoire⁵⁷¹ du concept de travail mécanique se mêle intimement à celle de la constitution de la science des machines. De Guillaume Amontons, l'un des premiers à quantifier cette notion en 1699, jusqu'à Coriolis (1792-1843), qui sacre l'avènement officiel du concept de travail mécanique dans son ouvrage *Du Calcul de l'Effet des Machines*⁵⁷² en 1829, on assiste à une suite ininterrompue de tentatives visant à rapprocher les domaines de la science pragmatique et de la mécanique rationnelle au travers des antécédents de ce concept⁵⁷³. De ce point de vue, l'œuvre de Daniel Bernoulli est remarquable : loin de se contenter de créer ou de parfaire une simple mesure de l'effet des machines, il cherche véritablement à relier son concept de travail mécanique aux autres concepts qu'il utilise. Ainsi on ne saurait bien comprendre comment Bernoulli agit de ce point de vue sans se référer à sa conceptualisation de la force vive et de sa conservation, à son concept de force vive potentielle, à la fatigue, ainsi qu'au poids qu'a pour cet auteur une conception élastique de la matière, en directe influence de son père Jean Bernoulli et de Leibniz avant lui. On ne saurait le comprendre non plus sans prendre conscience du contexte qui motive ses démarches, l'homme au travail et la production de la machine, et ses catégories conséquentes de rentabilité et d'optimisation.

⁵⁷¹ Ce chapitre est une version proche d'un article écrit avec la collaboration de Jérôme Viard. Il vient d'être accepté par la revue *Physis*. Les exigences qui s'imposent dans la rédaction d'un article expliquent la très légère différence de forme et de ton de ce chapitre, que l'on n'a pas pu entièrement gommer. Le lecteur le remarquera peut-être.

⁵⁷² CORIOLIS, *Du calcul de l'effet des machines*.

⁵⁷³ Pour une vue synthétique de toutes les notions de travail jusqu'à l'avènement du concept officiel en 1829, on pourra consulter : CARDWELL, "Some factors in the early development of the concepts of Power, Work and Energy". GRATTAN-GUINNESS, "Work for the workers : Advances in engineering mechanics and instruction in France, 1800-1830". FONTENEAU, "Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738)". VATIN, *Le travail, économie et physique*.

Mais quels sont ces antécédents du travail mécanique présents chez Daniel Bernoulli, et pourquoi peut-on les appeler ainsi ? Que recouvraient-ils exactement dans l'esprit de cet auteur ? Ces conceptions ont-elles évoluées au cours de sa carrière ?

Pour répondre à ces questions, nous procéderons chronologiquement, en étudiant les deux textes principaux où apparaît cette notion : le premier étant sa célèbre *Hydrodynamica*⁵⁷⁴, et le deuxième étant le prix de l'Académie Royale des Sciences de Paris qu'il remportât en 1753⁵⁷⁵.

Dans ceux-ci, l'auteur met en place un antécédent du concept de travail mécanique, à travers ses concepts de *potentia absoluta*, et de travail des hommes et des animaux, le premier étant, comme on le verra, plus large que le second. Sans tomber dans les critiques généralement évoquées à propos des précurseurs⁵⁷⁶, nous chercherons à comprendre quelle réalité cognitive particulière recouvrait les conceptions de Bernoulli, et à démanteler des argumentations abusives ayant traduit trop précipitamment les textes pour les interpréter en un sens par trop moderne. En effet, retracer l'histoire d'un concept est un exercice ardu, dont beaucoup de commentateurs ne se tirent qu'au prix d'une identification du concept avec son expression formelle. Méthode qui entraîne presque mécaniquement une projection de nos propres représentations sur celles des anciens.

Nous verrons en particulier comment la *potentia absoluta* et le travail des animaux, bien que portés par une volonté de faire se rapprocher les domaines pratique et théorique, resta en grande partie cloisonné dans la science des machines, et ne réussit pas, entre les mains d'un Bernoulli pourtant autant "théoricien" que "pragmatique", à transcender sa matrice originelle pour s'imposer comme un concept central dans la Mécanique, ce qu'il ne fera que sous l'impulsion de Coriolis et de son groupe d'ingénieurs-savants, près de 90 ans

⁵⁷⁴ BERNOULLI, DANIEL, *Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii. Opus academicum ab auctore, dum Petropoli ageret, congestum, Strasbourg, Dulssecker, Decker, 1738* On pourra consulter plus facilement la récente édition commentée : BERNOULLI, Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, *Hydrodynamik II* Il existe également une version anglaise plus ancienne : BERNOULLI, DANIEL, *Hydrodynamics*, Trad. par CARMODY, T. & KOBUS, H. ("*Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii (1738)*"), New York, Dover Publications, INC, 1968 Une traduction française a également été effectuée, mais nous ne la donnons ici que pour mémoire, sa qualité étant fort relative : BERNOULLI, DANIEL, PEYROUX, J. (éd.), *Hydrodynamique*, Trad. par PEYROUX, J. ("*Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*"), Bordeaux, J. Peyroux, 2004

⁵⁷⁵ BERNOULLI, DANIEL, "Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux", *Recueil des pièces qui ont remportés le prix de l'académie royale des sciences*, vol. VII, Paris, Panckoucke, 1769 (1753) Cette édition comporte le désavantage de ne pas donner les figures. On pourra y palier grâce à l'édition complète et de grande qualité qui en a été faite par Frans CERULUS : BERNOULLI, Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, *Technologie II*: 184-251

⁵⁷⁶ Notamment dans l'épistémologie bachelardienne. Cf. CANGUILHEM, GEORGES, "L'objet de l'histoire des sciences", *Études d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, 9-23: 9-23 BACHELARD, GASTON, *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, P.U.F., 1951 BACHELARD, GASTON, "L'Actualité de l'histoire des sciences", *L'Engagement rationaliste*, Paris, P.U.F., 1972, 137-152

après Bernoulli. A cette occasion nous verrons que le concept de *potentia absoluta* ne sera pas réutilisé chez cet auteur, quand bien même l'expression figure dans un texte mineur de 1768 traitant des frictions mais pour désigner tout à fait autre chose.⁵⁷⁷

Afin donc de saisir la véritable dimensionnalité des conceptions de Daniel Bernoulli, nous commencerons par montrer ce qu'elles ne sont pas, en contrepoint d'un article de Kevin C. de Berg, où l'auteur se permet de parler d'énergie cinétique à propos de la force vive, et d'identifier sans précautions ce que Bernoulli nomme *force vive potentielle* au travail mécanique. Nous aborderons ensuite les textes de Bernoulli où est présent un antécédent du concept de travail mécanique. Nous verrons dans le premier comment Bernoulli crée cet antécédent, la *potentia absoluta*, en exposant en détail ses caractéristiques, et comment il se place au sein d'une logique d'optimisation. Nous verrons ensuite dans le deuxième comment le travail s'arcoute entre les concepts de fatigue et de force vive, comment il révèle la philosophie sociale de son auteur, et enfin que la traduction que l'on a opérée au 19^e siècle de force vive en énergie cinétique ne s'avère pas des plus pertinentes, au regard de l'utilisation que cet auteur en fait, notamment lorsqu'on se replace dans la conception entièrement élastique qu'il a de la matière. Le troisième sera l'occasion pour nous de faire le point sur l'évolution du concept de *potentia absoluta* chez cet auteur.

4.B. DES ILLUSIONS DE L' « OPTIQUE FORMELLE »

Dans l'histoire de la physique, une époque prit fin, si l'on nous permet d'être schématique, autour de 1850, avec l'invention du principe de conservation de l'énergie. Comme l'analyse très bien Thomas Kuhn,⁵⁷⁸ c'est à partir du concept de travail mécanique, et non pas à partir du principe de conservation des forces vives, que cet avènement put se réaliser.⁵⁷⁹ Le travail mécanique, entré officiellement dans la physique théorique par le biais

⁵⁷⁷ BERNOULLI, DANIEL, "Commentation de utilissima ac commodissima directione potentiarum frictionibus mechanicis adhibendarum", in SPEISER, D. (ed.), *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 3, Mechanik*, Basel, Boston, Stuttgart, Birkhäuser Verlag, 1987 (Novi commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, vol. XIII, p. 242-256, 1768 (1769)), 209-218.

⁵⁷⁸ KUHN, THOMAS SAMUEL, "Un exemple de découverte simultanée : la conservation de l'énergie", *La tension essentielle, Tradition et changement dans les sciences*, Trad. par TRAD. DE L'ANGLAIS PAR MICHEL BIEZUNSKI, P. J., ANDRÉE LYOTARD-MAY...[ET AL.], Paris, Gallimard, 1990, 111-156, trad. de CLAGETT, MARSHALL (ED.), *Critical Problems in the History of Science. Proceedings of the Institute for the History of Science ... 1957.*, Madison, University of Wisconsin Press 1959.

⁵⁷⁹ P. 132 : "Ce théorème [le principe de conservation des forces vives] joue un rôle éminent dans l'histoire de la dynamique et s'avère en outre avoir été un cas particulier de la conservation de l'énergie. Il aurait pu en fournir un modèle. L'opinion dominante selon laquelle il l'a fait me semble toutefois erronée." P.140 : "Le concept de travail est la contribution la plus décisive à la conservation de l'énergie qui résulte de l'intérêt que

de Coriolis en 1829⁵⁸⁰ qui établit une relation d'équivalence entre ce concept et la force vive, en soumettant la seconde au premier, qu'il mit au centre de sa nouvelle description, apparaît de cette manière comme le passeur entre l'ancienne et la nouvelle physique, entre une physique de la force, et une physique de l'énergie. Pour le résumer formellement, le travail mécanique s'exprime par l'intégrale $\int F \cdot dx$, où F représente la force appliquée en un point, et dx l'élément infinitésimal de longueur parcourue par le point d'application d'une force. Dans le cas le plus simple, une balle de poids P tombant en chute libre d'une hauteur H , le travail du poids⁵⁸¹ est égal à $P.H$. Bien entendu, cette simple définition formelle ne saurait suffire à définir le concept dans sa globalité. Auquel cas, cette expression étant souvent présente dans des intermédiaires de calcul, nous pourrions en conclure abusivement que ce concept est présent partout depuis des temps immémoriaux. C'est précisément ce que semblent faire plusieurs auteurs, dont Kevin C. De Berg dans son article *The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy*.⁵⁸² L'auteur de cet article y énonce sans ambages :

La relation entre 'travail' et 'force vive' fut exprimée pour la première fois par Daniel Bernoulli en 1738 dans un article⁵⁸³ où il considère la compression d'air dans un cylindre. Il appelle $(P+p)x$, la force vive potentielle, et $\frac{1}{2}(P+p)v$, la force vive réelle. Bien qu'il ne distingue pas la masse du poids, et n'utilise pas le terme 'travail', il est clair que sa dérivation mathématique est un important précurseur des concepts de travail, énergie potentielle et énergie cinétique.⁵⁸⁴

Ainsi donc d'après De Berg, Bernoulli non seulement inventerait le travail dans le texte cité, mais en plus, le relierait avec la force vive. Dans la suite, il se fait encore moins nuancé, puisqu'il énonce que la dérivation de Bernoulli est très instructive car il montre

comment l'énergie cinétique (qu'il appelle 'force vive réelle') est reliée au travail produit (qu'il appelle 'force vive potentielle').⁵⁸⁵

De Berg, donc, croit que l'expression $(P+p).x$ citée précédemment est un travail, et $\frac{1}{2}(P+p).v$ de l'énergie cinétique. Il va même jusqu'à dire que l'on peut traduire le propos de l'auteur par l'expression moderne bien connue : $mgh = \frac{1}{2} m.v^2$ (p. 522), parlant ainsi de travail

l'on porta aux machines tout au long du XIX^e siècle." Il faut noter que dans cet article, Kuhn ne cite que la section X de l'*Hydrodynamica*, sans s'y attarder. Nous étudierons ici également la section IX.

⁵⁸⁰ CORIOLIS, *Du calcul de l'effet des machines*

⁵⁸¹ Nous verrons que cette expression de « travail du poids » n'a, chez Daniel Bernoulli, aucun sens, les éléments naturels ne pouvant pas seuls réaliser un travail.

⁵⁸² DE BERG, KEVIN C., "The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy", *Science & Education*, n° 6 1997, pp 511-527

⁵⁸³ Il s'agit en fait du §40 de la section X de son *Hydrodynamica*.

⁵⁸⁴ KEVIN C. DE BERG, *The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy*, *Science & Education* 6, 1997. P. 514-515. Nous traduisons.

⁵⁸⁵ *Ibid*, p. 521-522.

du poids. A propos du même texte, Pacey et Fisher faisaient les mêmes erreurs, trente ans plus tôt, en affirmant :

Dans ce raisonnement, la descente du poids correspond à la dépense de travail et augmente une “vis viva potentielle” [...]; mais la “vis viva potentielle” n’est pas clairement distinguée du travail, que Bernoulli appelle autre part “potentia absoluta”⁵⁸⁶

Par ailleurs, Brett D. Steele, relatant une application du calcul de la force vive aux projectiles de mousquets, qui suit immédiatement le paragraphe analysé par De Berg et Pacey & Fisher, ne remet pas en cause cette interprétation, tout juste pondérée par quelques guillemets :

Bernoulli montra que le “travail” effectué par l’air expansé est égal à l’ “énergie cinétique” du projectile à la bouche du fusil.⁵⁸⁷

Nous allons voir que tout ceci est erroné. En effet, cette traduction, ou plutôt cette bijection totale entre conceptions bernoullienne et moderne, est irrecevable pour l’historien des sciences, et ce pour plusieurs raisons, que nous allons d’abord mentionner puis développer par la suite.

La première est que l’essentiel de l’entreprise de Coriolis a consisté à réunir les concepts de force vive et de travail (et Coriolis lui-même est convaincu de la nouveauté de la chose), en arguant de leur conversion mutuelle, et à réinterpréter la physique à l’aune de ce dernier. Si l’on suit De Berg, on ne comprend alors guère pourquoi ce n’est pas plutôt Daniel Bernoulli qui fut célébré comme l’inventeur du concept de travail mécanique, et on est conduit à conclure que Coriolis et ses collègues ingénieurs, formés à la meilleure école de l’époque, Polytechnique, étaient dans l’ignorance de l’œuvre majeure du 18^e s. en matière d’hydraulique, ce qui semble pour le moins improbable.

La seconde est que Bernoulli ne s’autorise jamais à parler de *travail du poids*. Il s’interdit tout à fait, comme nous allons le voir, que les éléments naturels, livrés à eux-mêmes, sans médiation, puissent exercer un travail.

Troisièmement, le terme de “force vive potentielle” désigne quelque chose de bien précis dans l’esprit de Bernoulli, qui n’a rien à voir avec un travail. On pourrait croire, à tort, que le terme d’énergie potentielle serait plus approprié. Il n’en est rien, et nous verrons de

⁵⁸⁶ PACEY & FISHER, “Daniel Bernoulli and the vis viva of compressed air”: 389 « In this reasoning, the descent of the weight corresponds to the expenditure of work and gives rise to a “potential vis viva” [...]; but “potential vis viva” is not clearly distinguished from work, which Bernoulli elsewhere calls “potentia absoluta” ». Nous traduisons. D’ailleurs dans le passage en question, Bernoulli n’utilise pas plus le mot de travail que le concept.

⁵⁸⁷ STEELE, “Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution”: 358 « Bernoulli showed that the “work” done by expanding air is equal to the “kinetic energy” of the projectile at the muzzle. » Nous traduisons.

quoi il retourne plus loin. Néanmoins, si De Berg se contentait de traduire la “force vive potentielle” de Bernoulli en “énergie potentielle”, le malentendu serait moins grave : on comprendrait plus aisément qu’un pédagogue comme De Berg ait pu utiliser une traduction approximative, peu au fait des subtilités de la pensée de Bernoulli. Parler de travail, en revanche, ne correspond même pas à une traduction approximative de sa pensée. De Berg montre en outre qu’il fait une confusion, fréquente par ailleurs au sein des manuels scolaires, entre travail et variation d’énergie potentielle.

La quatrième raison, enfin, est que le concept d’énergie, en plein 18^e s., n’avait pas émergé. Traduire ainsi “force vive” en “énergie cinétique”, sans précaution, semble ainsi quelque peu cavalier. Nous verrons en effet que ce terme, chez Bernoulli, ne saurait être directement traduit de la sorte.

A présent, afin de corroborer ces quatre affirmations, il est nécessaire d’explicitier plus avant la démarche de Bernoulli. Regardons donc de plus près la section incriminée.

4.B.a. LA SECTION X : UNE PROBLEMATIQUE D’AIR COMPRIME

Dans la section en question, la dixième de l’Hydrodynamica donc, Bernoulli considère un piston ABCD rempli d’air atmosphérique, situé dans un vide d’air (Voir Figure 44).

La distance EB est posée égale à a . La partie EF est mobile et soutient tout d’abord un poids p , « égal à la pression »⁵⁸⁸

qu’exerce l’air atmosphérique lorsque le piston est dans des conditions normales. Dans celles-ci, puisque l’air intérieur est de l’air atmosphérique, il peut soutenir le poids p qu’on lui impose. Ainsi EF est en équilibre. A présent, posons un poids supplémentaire P par-dessus le poids p . Le plateau EF va alors se mouvoir vers le bas, avec une certaine vitesse.

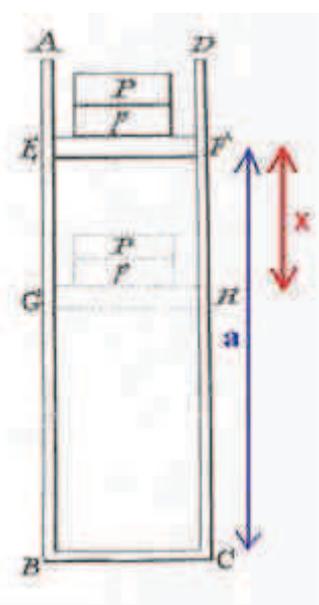


Figure 44 : Piston dans un vide d’air, rempli d’air pouvant soutenir le poids p à la hauteur a .

Supposons qu’à une certaine distance

x de EF le plateau ait la vitesse v . grâce à la loi de Boyle-Mariotte (le produit de la pression, assimilé à un poids, par le volume, reste constant, si la température est constante), Bernoulli

⁵⁸⁸ Le terme de pression, ici, ne désigne pas une pression au sens moderne, mais ce que nous appellerions une force de pression, c’est-à-dire le produit de la pression par une surface, qu’il peut égaliser à un poids.

peut calculer la pression, dirigée vers le haut, de l'air intérieur comprimé qui va s'exercer sur EF. On trouve alors facilement que :

$$P_1.V_1=P_2.V_2, \text{ avec les indices 1 pour les pressions initiales et 2 pour les finales, donc}$$

$$P_2 = \frac{P_1.V_1}{V_2} = \frac{p.(a.\Pi b^2)}{[(a-x).\Pi b^2]} \text{ avec } b \text{ le rayon de la base du cylindre, d'où : } P_2 = \frac{p \cdot a}{(a-x)}$$

D'où la force résultante sur le plateau EF égale à : $P + p - \frac{a}{a-x} \cdot p$

Utilisant alors le concept newtonien de force accélératrice, Bernoulli va diviser cette force résultante par la masse de l'objet qui se meut, ce qui lui donne la "force accélératrice" (donc dv/dt), et multiplier le tout par la différentielle de temps dt , ou ce qui est la même chose, dx/v , pour obtenir la différentielle de la vitesse dv . Donc :

$$dv = \frac{\left(P + p - \frac{ap}{a-x} \right) \cdot \frac{dx}{v}}{(P+p)}$$

Ayons soin de remarquer dans cette expression que le $P+p$ du numérateur est une force, newtonienne, tandis que celui du dénominateur est une masse. Il ne reste plus qu'à faire passer $P+p$ dans le premier membre et à intégrer. D'où :

$$\frac{1}{2}(P+p)v^2 = (P+p)x - ap \cdot \ln \frac{a}{a-x}$$

C'est cette formule qui permet de dire à De Berg que si la compression de l'air n'opposait pas de résistance, alors on obtiendrait $\frac{1}{2} (P+p).v^2 = (P+p)x$, c'est-à-dire la première relation explicite entre la force vive et le travail, ce que De Berg traduit par : $mgh = \frac{1}{2} mv^2$.

Mais que nous dit Bernoulli ? Il appelle la force vive effectivement acquise par le poids $(P+p)$ lors de sa chute, depuis la hauteur x , contrariée par la pression de l'air, *force vive réelle* ("vis viva actualis"⁵⁸⁹), c'est à dire $\frac{1}{2} (P+p) v^2$ (le membre de gauche de la dernière équation). Face à cela, nous avons la *force vive potentielle* ("vis viva potentialis"), c'est à dire la force vive acquise par le poids $(P+p)$ si celui-ci tombait en chute libre depuis la hauteur x . Cette force vive est *potentielle* puisqu'elle exprime ce qui pourrait se passer dans des conditions qui ne sont pas celles ci-dessus évoquées, ou, si l'on veut, *la force vive totale susceptible d'être disponible au cours de la chute*. Cette force vive potentielle est donc égale à $\frac{1}{2} (P+p)V^2$ (avec ici V désignant non plus le volume, mais la vitesse qu'acquerrait le poids $(P+p)$ si celui-ci tombait en chute libre depuis la hauteur x), ou bien, en vertu du principe de

⁵⁸⁹ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, Technologie II: 344 (Sect. X, §40)*

conservation des forces vives, à $(P+p)x$. La différence entre cette dernière expression et la force vive réelle est donc donnée par la seconde partie du membre de droite dans l'équation ci-dessus. L'interprétation physique que Bernoulli en donne correspond à la quantité de force vive qui a été transmise à l'air pour que celui-ci se comprime. Et comme cette quantité est exprimée par le produit du poids p et d'un nombre, Bernoulli peut énoncer que la quantité de force vive nécessaire à comprimer un certain volume d'air jusqu'à une certaine valeur, est égale à celle qu'acquerrait ce même poids p tombant d'une hauteur de $[a \cdot \ln a/(a-x)]$ pieds.

Pour parler concrètement, supposons que la surface de EF soit d'un pied carré, et que le poids p soit égal à 2240 livres, c'est-à-dire précisément le poids correspondant à la pression de l'air atmosphérique exercée sur une surface d'un pied carré. Si $a=2$ pieds, et qu'on veut comprimer notre volume d'air de manière à lui donner une densité deux fois plus élevée, il faut donc que x soit égal à 1 pied. En pratiquant cette compression, nous utilisons donc une force vive de :

$$2 \cdot \ln \frac{2}{2-1} \cdot 2240 = 3105 \text{ (Bernoulli ne donne pas d'unités),}$$

c'est-à-dire la force vive acquise par un corps de masse $p'=3105$ livres tombant d'une hauteur de 1 pied, ou, ce qui est la même chose, d'un corps de 1552.5 livres tombant de 2 pieds, et ainsi de suite de tous les produits donnant 3105. Selon l'axiome de Huygens de l'égalité de la descente réelle et de la remontée potentielle⁵⁹⁰, Bernoulli peut alors énoncer réciproquement que si l'on dispose d'un air deux fois plus dense que l'air atmosphérique, celui-ci pourra élever un poids de 3105 livres à un pied de hauteur. Il calculera ensuite selon les mêmes méthodes un piston situé dans l'air et non plus dans le vide.

4.B.b. PAS DE TRAVAIL MECANIQUE, MAIS UNE PRENOTION D'ENERGIE INTERNE

Bernoulli expose-t-il donc ici une quelconque notion ou antécédent de travail mécanique ? Non. Nous venons de voir que le seul concept disponible dans ces lignes est celui de force vive, et que toute son argumentation se révèle n'être que *partie intégrante du schème de conservation de la force vive leibnizienne*. Le corps pesant ne travaille pas : il ne fait que générer de la force vive. La descente du corps fournit constamment la même quantité de force vive à celui-ci : nous ne faisons qu'assister, dans le mouvement de va-et-vient du piston, à la restitution de la force vive emmagasinée par l'air, transférée de celui-ci au piston et de ce dernier au premier. En ce sens le piston joue le même rôle que le pendule de

⁵⁹⁰ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 108, § 18 Bernoulli parle au sujet de la conservation de la force vive d' "égalité entre la descente en acte et l'ascension en puissance"*.

Huygens, expérience-paradigme de l'égalité de la descente réelle et de la remontée potentielle. La même quantité de force vive qui avait servi à descendre est réutilisée pour remonter. A cette différence près cependant, que le mouvement du piston n'est pas autoentretenu. Il faut un agent extérieur si donc nous voulons, du moins dans ces conditions, faire en sorte que le piston s'abaisse et se relève, ce en quoi cette situation est très proche de celle du ressort. Il existe alors dans l'esprit de Bernoulli une similitude entre sa manière de concevoir un air comprimé, et la manière dont on pouvait concevoir un ressort.

Ce qui est à l'œuvre ici donc n'a rien à voir avec une prénotion de travail, mais relève de tout autre chose. En effet la manière dont Bernoulli considère la force vive nous paraît novatrice en ce sens que celle-ci est emmagasinée dans l'air après sa transmission, et c'est la capacité de stockage de la force vive qui permet cette transmission.

Il faut aller plus loin dans le texte, et lire le § 43, pour qu'apparaisse timidement une notion de travail. Bernoulli, dès lors, change de registre : après avoir mis en place jusqu'ici un outil théorique, il en vient à traiter brièvement de l'air expansé par le moyen du charbon, comme dans les machines à feu. Il bascule dès lors dans le domaine pratique des machines productives, et va faire référence au travail des hommes. En effet, après avoir cité un mémoire de Guillaume Amontons de 1699, où ce dernier propose de tirer du travail de la puissance du feu grâce à un moulin la transformant en force productive⁵⁹¹, il énonce une conviction :

Je suis convaincu que si toute la force vive *latente* d'un pied cube de charbon [vis viva, quae in carbonum pede cubico latet], tirée par le moyen du feu, était convenablement appliquée à la conduite d'une *machine*, on en tirerait plus de profit que du labeur d'une journée [labore diurno] de huit ou dix hommes.⁵⁹²

Une force vive latente ? Si Bernoulli ne crée pas dans cette section de notion de travail, il semble pour autant avoir l'intuition aiguë de ce qu'on appellera plus tard non pas tant une énergie potentielle qu'une énergie interne⁵⁹³. C'est donc de la sorte que Bernoulli semble interpréter le dispositif d'Amontons : un formidable moyen de tirer la force vive latente du combustible pour la conduite d'une machine, dont l'effet remplacerait celui du labeur de bien des hommes. Il réitère de la sorte quelques lignes plus loin, toujours dans le même paragraphe, lorsqu'il calcule de la même manière la force vive consacrée à l'expansion d'un volume d'air ayant subi la déflagration d'une charge de poudre à canon, en concluant :

⁵⁹¹ AMONTONS, GUILLAUME, "Moyen de substituer commodément l'action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les machines", MARS 1699, Paris, Martin, Coignard fils, Guerin, 1732, 112-126 (Mémoires) Sur ce texte cf. FONTENEAU, "Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738)"

⁵⁹² BERNOULLI, Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 346 (Sect. X, § 43) Nous soulignons.

⁵⁹³ Nous reviendrons plus bas sur ces notions de force vive potentielle et latente, et les liens qu'elles entretiennent avec la conception élastique de la matière chez Daniel et Jean Bernoulli.

Ainsi donc, en théorie, il existe une *machine* au moyen de laquelle un pied cube de poudre à canon peut élever 183 913 864 livres à la hauteur d'un pied, lequel travail [laborem], je le crois, même 100 hommes très forts ne pourraient pas accomplir en une journée, quelle que soit la machine qui est utilisée.⁵⁹⁴

Il faut noter que ce sont les deux seuls passages de la section X, d'ailleurs fort courts, et se limitant à une comparaison, où apparaît une notion de travail. Il semble alors que par ces quelques lignes, Daniel Bernoulli indique que la force vive va pouvoir être convertie en travail mécanique par le jeu d'un dispositif machinique (et seulement ainsi). La machine, mettant en acte la potentialité de la poudre à canon ou du charbon, va produire le mouvement ascendant d'un certain poids, mouvement tout à fait équivalent à celui obtenu par le travail d'un homme ou d'un animal, lequel travail est précisément défini par l'élévation d'un objet pesant à une certaine hauteur. Bernoulli se place dans la même logique que Guillaume Amontons en 1699, dont il semble par ailleurs très bien connaître les travaux⁵⁹⁵, c'est-à-dire une logique de substitution des forces mouvantes, ici la force des hommes et la force de l'air expansé, dont on peut comparer les effets.

Pour conclure, au terme de l'analyse de cette section, il faut insister sur l'influence du contexte sur la pensée de Bernoulli. Dans cette section essentiellement théorique, le contexte est ici celui de la conservation des forces vives aussi bien dans le domaine de la chute des corps que dans celui des corps élastique. Le dispositif du §. 40 a pour but, de l'aveu de Bernoulli, d'« *établir une correspondance entre la conservation des forces vives contenues dans de l'air comprimé et un corps qui est tombé d'une certaine hauteur* » (§.43). Mais « *on ne peut espérer aucun avantage du dispositif précédent [...] pour améliorer l'usage des machines* » (Ibid.). Ce dispositif n'a qu'un objectif : fournir un moyen de calcul. Une fois établi le calcul de la force vive contenue dans un fluide élastique, il est possible de passer à une application relative aux machines mues par l'action du feu telle que celle d'Amontons. C'est alors que Bernoulli en vient à comparer le travail susceptible d'être obtenu par une machine mue par la force du feu à celui produit par une machine mue par la force des hommes.

Si Bernoulli finit donc par mettre en rapport force vive et travail, c'est donc d'une manière qui n'a rien à voir avec la suggestion de De Berg. En outre ce rapport est univoque, en ce que la conversion réciproque de travail en force vive n'est pas même mentionnée. La conversion de force vive en travail n'est quant à elle évoquée que lorsque l'auteur en vient à traiter de problèmes pratiques. Enfin, Bernoulli n'évoque jamais une notion de *travail du*

⁵⁹⁴ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 347 (Sect. X, § 43) Nous soulignons.*

⁵⁹⁵ Dans cette même dixième section, Bernoulli cite en longueur un mémoire d'Amontons de 1702 traitant de l'élasticité de l'air., et en discute les conclusions (§. 6).

poids : la nature en général, et la pesanteur en particulier, ne sont pas doués de la capacité de produire du travail par *eux-mêmes*, au contraire des animaux, hommes compris. Il faudra toujours un intermédiaire, une machine, pour que la force vive, potentielle ou actuelle, puisse se convertir en travail.

Pour mieux comprendre ce que Bernoulli entend par travail, il va nous falloir revenir en arrière dans son *Hydrodynamica*, et nous intéresser au concept de *potentia absoluta* qu'il met en place dans la section IX, dans un contexte ayant trait à la constitution d'une science des machines hydrauliques, où existent des déperditions et des frictions, et où l'effet d'une machine pourra être compris comme catégorie générale regroupant sous son nom effets utiles et effets inutiles. Mais qu'est-ce exactement que la *potentia absoluta* ?

4.C. LA POTENTIA ABSOLUTA, UN ANTECEDENT DU TRAVAIL MECANIQUE

Ce terme avait déjà été repéré par G.K.Mikhaïlov, qui y avait vu un concept de travail mécanique, mais sans s'en expliquer véritablement⁵⁹⁶. Il figure dans la section IX, dont le titre est déjà révélateur :

Du mouvement des fluides jaillissant sous l'effet non de leur propre poids, mais d'une puissance *extérieure*, et plus particulièrement des machines hydrauliques et du degré ultime de perfection qu'elles peuvent atteindre, ainsi que du moyen de parfaire cela à l'avenir grâce à la mécanique des solides aussi bien que des fluides.⁵⁹⁷

Notons que dans les sections précédentes, Bernoulli n'avait traité que du mouvement de fluides mus par leur propre poids, et c'est cette condition qui lui permettait d'appliquer l'énoncé de Huygens de l'égalité de la descente réelle et de la remontée potentielle. Il procède alors à un saut qualitatif en traitant de la sorte certes toujours le mouvement, mais provoqué par un agent étranger aux fluides mêmes. Dans ce titre, tout est déjà dit, ou presque : s'intéresser aux puissances extérieures qui font mouvoir les fluides revient de fait à s'intéresser à des dispositifs qui vont diriger les fluides dans un but précis. Il s'agit en somme de considérer la sphère des applications pratiques. En outre, le fait de penser la machine sous un rapport de plus grande perfection, ouvre la voie à une problématique d'optimisation et de rentabilité typique de la sphère productive⁵⁹⁸. Enfin, la volonté de les parfaire par le biais de la mécanique rationnelle rend manifeste une tentative de dissoudre la distinction entre théorie et pratique, ce qui semble être l'une des ambitions de la science des machines, et une des raisons d'être du concept de travail mécanique.

4.C.a. UN NOUVEAU CONCEPT ADAPTE A LA SPHERE PRODUCTIVE

Bernoulli va-t-il alors utiliser les mêmes outils que dans les autres sections ? Non, la nature des sujets étant, dans cet exposé des choses, trop différente pour donner lieu à un traitement similaire. Il lui faut donc inventer de nouveaux outils. Les "définitions" du début de la section sont l'occasion de les exposer :

⁵⁹⁶ MIKHAILOV, GLEB K., "Introduction to Daniel Bernoulli's Hydrodynamica", in MIKHAILOV, G. K. (ed.), *Die werke von Daniel Bernoulli, band 5, Hydrodynamik I* 1773-1788, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2002, 17-78: 61

⁵⁹⁷BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II*: 274 : "De motu fluidorum, quae non proprio pondere, sed potentia aliena ajiciuntur, ubi praesertim de Machinis Hydraulicis aerundemque ultimo qui dari potest perfectionis gradu, & quomodo mechanica tam solidorum quam fluidorum ulterius perfeci posit" Citation traduite par nous, ainsi que les suivantes.

⁵⁹⁸ Une voie initiée par Antoine Parent 34 ans auparavant. Cf. PARENT, ANTOINE, "Sur la plus grande perfection possible des machines", MARS 1704, Paris, Martin, Coignard, Guerin, 1745, 323-338

“J’entends par puissance mouvante [potentia movente] ce principe actif consistant en un poids, une pression en action, ou une autre force morte de ce genre”⁵⁹⁹.

C’est donc cette puissance mouvante, inspirée de la force morte leibnizienne, et dimensionnellement exprimable par un poids, qui constitue cet agent externe forçant notre fluide à se mouvoir. Bref elle est la *cause* du mouvement. Le concept ne semble guère original mais Bernoulli se devait de le nommer. La suite est bien plus originale, lorsque Bernoulli présente l’effet de cette cause agissante :

“De plus, le produit qui vient de la multiplication de cette *puissance mouvante* par sa vitesse et également par le temps pendant lequel elle exerce sa pression, je le désigne par *puissance absolue* [potentia absoluta]. Ou, puisque le produit de la vitesse et du temps est simplement proportionnel à la distance couverte, il sera également permis de comprendre la *puissance absolue* comme la *puissance mouvante* multipliée par la distance dont *celle-ci* se meut.”⁶⁰⁰

Mais quelle signification physique ce concept possède-t-il? La réponse est immédiate :

“J’appelle ce produit *puissance absolue* car c’est à partir de lui que doit être estimé le travail enduré par les ouvriers [labores hominum operariorum] pour l’élévation des eaux, ce qui, je le montrerai bientôt, sera prouvé par les règles que je donnerai en cette matière.”⁶⁰¹

La première de ces règles s’énonce alors ainsi :

“Le travail des ouvriers appliqués aux machines hydrauliques pour l’élévation des eaux, doit être estimée par leur *potentia absoluta*, c’est-à-dire par la *puissance mouvante* ou pression qu’ils exercent, par le temps, et par la vitesse du point auquel la *puissance mouvante* est appliquée.”⁶⁰²

Le travail des hommes sert donc ici de référence, et qui plus est, Bernoulli s’attache à montrer que celui-ci est bien représenté par la *potentia absoluta*. Pour ce faire, il donne, à la suite de cette première règle, trois preuves :

- a. Le labeur des hommes est directement proportionnel au nombre de travailleurs appliqués à l’ouvrage, et donc, *proportionnel à la puissance mouvante appliquée*, si on raisonne à vitesse constante et sur la même durée.
- b. Concernant le temps, si on l’augmente alors on augmente le labeur dans la même proportion
- c. Enfin, que l’on double la puissance mouvante ou qu’on en double la vitesse, il se produit le même effet, c’est-à-dire, par exemple, que l’on élèvera la même quantité d’eau dans le même temps, au final.

⁵⁹⁹ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 275 (§ 2)*

⁶⁰⁰ *Ibid.*

⁶⁰¹ *Ibid.*

⁶⁰² *Ibid.*: 275 (§ 3)

Le poids, la vitesse et le temps, multipliés entre eux, sont donc trois paramètres pertinents pour l'évaluation du labeur des hommes, car ceux-ci se rapportent à l'effet produit. Ce produit étant la définition de la *potentia absoluta*, on peut conclure que le travail des hommes est une image directe de cette dernière.

Soulignons immédiatement un point. Si Daniel Bernoulli utilise deux expressions ici, *potentia absoluta* et travail des hommes, c'est qu'il existe une distinction entre elles, ou plus exactement un rapport de genre à espèce: le travail des hommes est une forme de *potentia absoluta*, mais toutes les *potentia absoluta* ne proviennent pas de lui. En effet, ce qui importe dans la définition qu'il donne de son nouveau concept, est la référence à la *puissance mouvante*. C'est donc la pression résultante que l'on se doit de considérer, ainsi que la vitesse de cette pression et le temps pendant lequel elle agit. On voit immédiatement que dans le cas d'un homme, la pression qu'il exerce, en régime stationnaire, ne varie pas avec la vitesse, et qu'il existe une identité stricte entre sa vitesse propre et la vitesse du point d'application de son effort (une rame par exemple).

Il en va tout autrement d'une machine mue par un fluide tel que l'eau, comme dans le cas d'un moulin à eau. Dans ce second cas, en effet, la pale fuira devant le fluide en mouvement, et pour connaître la force avec laquelle ce dernier frappera la pale, il faudra considérer la vitesse résultant de la soustraction de celle de la pale à celle de l'eau. Ainsi la pression exercée sur la pale mouvante par le fluide ne sera ni identique ni directement proportionnelle à la pression exercée sur une pale immobile. En conséquence, on ne saurait en toute rigueur parler de *potentia absoluta* d'un fluide, car les paramètres en jeu ne sont pas la pression totale du fluide (c'est-à-dire celle s'exerçant sur une pale immobile) ni la vitesse totale du fluide, mais en réalité la *puissance mouvante* et la vitesse de la pale : la *potentia absoluta* naît au contact avec les machines mues et caractérise l'effet exercé à l'entrée. C'est bien cette notion de mobilité qui change tout, et que Bernoulli souligne en parlant de *puissance mouvante* : il s'agit de considérer les forces en tant qu'elles sont capables d'une action continue, renouvelée et en mouvement. Ainsi donc, s'il existe une identité entre travail des hommes et *potentia absoluta*, cette dernière se distingue du premier dans son rapport de généralité, pouvant définir un effet exercé sur une machine résultant de n'importe quelle *puissance mouvante* donnée. Si le travail met directement en rapport la force de l'homme avec son effet exercé sur la machine, les éléments, par nature, ne peuvent exercer sur la machine leur force totale. La médiation de la machine, signe à la fois la condition de la production par les éléments, et leur nécessaire déperdition.

Nous voyons donc un terme, la *potentia absoluta*, dont les dimensions sont identiques à celles du travail mécanique, pris dans sa formulation moderne, acquérir le statut de concept autonome, et, qui plus est, indexé sur le labeur, le travail, des hommes. C'est par ce concept que doit être mesuré l'effet appliqué à la machine, en considérant la puissance mouvante résultante, et en référence au travail des hommes. Celui-ci va constituer le socle de ses réflexions durant toute la première partie de la section IX, et il va bien le différencier du facteur essentiel et limitant que constitue la fatigue.

4.C.b. LA FATIGUE, UN PARAMETRE PROBLEMATIQUE MAIS DETERMINANT DANS LA CONCEPTION DES MACHINES

Le poids, la vitesse et le temps, multipliés entre eux, sont donc trois paramètres pertinents pour l'évaluation du labeur des hommes, car ceux-ci se rapportent à l'effet produit. Mais ce ne saurait être une mesure de la fatigue. Bernoulli le précise immédiatement :

"La précédente proposition ne doit pas être interprété dans un sens physiologique mais dans un sens moral"⁶⁰³

Qu'est-ce à dire? Les différentes manières d'obtenir le produit $P.v.t$ sont moralement⁶⁰⁴ identiques, car elles produisent des effets identiques mais elles ne sont pas équivalentes d'un point de vue physiologique :

[...] moralement [moraliter] je n'attribue ni plus ni moins de valeur au travail d'un homme qui exerce à la même vitesse un effort double qu'à celui qui faisant le même effort double la vitesse, parce que certainement l'un ou

⁶⁰³ *Ibid.*: 276 (§ 4) "Propositio praecedens non sensu physiologico sed morali est interpretanda".

⁶⁰⁴ Cet adjectif de moral fait peut être référence à Descartes et à la certitude morale, celle qui suffit dans la pratique, au quotidien, et trouve sa place dans la construction du concept de probabilité. Par exemple, je sais moralement que Rome existe, même si je n'y suis jamais allé, car j'ai rencontré de nombreuses fois des personnes ayant été en cette ville, mais je n'en suis pas absolument sûr. Il semble de même que, chez Bernoulli, les différentes manières d'obtenir le produit $P.v.t$ sont moralement identiques, car elles génèrent des fatigues identiques : en effet, dans l'immense majorité des cas, on ne rencontre que des travaux qui demandent à être exécutés pendant de longue période de temps (toute une journée), donc qui génèrent des fatigues raisonnables et à peu près égales. Mais dans des cas extrêmes (grande vitesse, ou forte charge), il n'en va plus de même, et deux manières de former le même produit $P.v.t$ généreront des fatigues différentes. Les différentes manières de former $P.v.t$ ne sont donc pas absolument identiques, au sens où $P.v.t$ ne représente pas absolument la fatigue. Cf. DESCARTES, RENE, "Les principes de la philosophie, IV", in COUSIN, V. (ed.), *Œuvres de Descartes*, vol. III, Paris, F.G. Levrault, 1824(1644), 526-[1] Cf. également ARNAULD, ANTOINE & NICOLE, PIERRE La logique, ou L'art de penser : contenant, outre les regles communes, plusieurs observations nouvelles propres à former le jugement, Paris, Charles Savreux, 1662: IV, 13 On trouve également l'occurrence chez BERNOULLI, JACQUES, *Ars conjectandi, opus posthumum. Accedit Tractatus de seriebus infinitis et epistola gallice scripta de ludo pilae reticularis*, Basileae, Thurnisiorum fratrum, 1713: p. 226 Cet écrit a été réédité in : BERNOULLI, JACQUES, *Die Werke von Jakob Bernoulli*, vol. 3, Basel, Birkhäuser, 1975 Leibniz également utilise cette notion. En ce qui concerne la littérature secondaire, on consultera à profit HACKING, IAN, *L'émergence de la probabilité*, Trad. par DUFOUR, M. ("The Emergence of probability"), Paris, Seuil, 2002

l'autre produisent le même effet, quoiqu'il puisse arriver que le travail de l'un bien qu'il ne soit pas moins fort que l'autre soit beaucoup plus grand en un sens physiologique.⁶⁰⁵

Parmi les différents facteurs qui interviennent dans la mesure du travail la vitesse a une place à part si l'on se place d'un point de vue physiologique. Ainsi, nous dit-il (p. 276) si quelqu'un parcourt avec un effort de 20 livres une distance 200 pieds dans la première minute, il pourra aisément doubler l'effort (passant ainsi à 40 livres), mais il pourra beaucoup plus difficilement doubler sa vitesse (pour atteindre donc 400 pieds par minute). Bien que dans les deux cas la *potentia absoluta* résultante soit double, la fatigue physiologique éprouvée par le deuxième homme sera bien plus grande. C'est pourquoi Bernoulli prend soin de faire une remarque importante :

il faut considérer particulièrement comment chaque type de machine doit être constitué de sorte que pour la fatigue minimale des hommes [minima hominum defatigatione] le produit de leurs efforts par les vitesses soit en même temps un maximum⁶⁰⁶

Il convient donc, nous dit Bernoulli, de prendre en compte la fatigue dans la conception des machines car cela permet d'adapter les machines aux dispositions naturelles de l'organisme humain. En effet derrière la distinction entre fatigue et travail (ou *potentia absoluta*) c'est la distinction entre "puissance"⁶⁰⁷ et travail qui se cache. Doubler la vitesse avec laquelle une tâche est réalisée revient à doubler la "puissance" nécessaire à l'exécution de la tâche. Or la puissance moyenne disponible dépend directement de la constitution de l'organisme. Si l'on ne respecte pas les données physiologiques, la fatigue va être beaucoup plus grande pour un même travail. Mais comment prendre en compte la fatigue si on ne peut pas la mesurer, puisqu'elle n'est pas identique ou même proportionnelle au travail fourni ? En faisant référence à l'expérience. Et Bernoulli prend un exemple celui des cages d'écureuil. Marcher dans une cage d'écureuil équivaut à effectuer une marche sur un plan incliné. Or un marcheur pourra faire l'ascension d'une hauteur de plusieurs milliers de pieds pendant une dizaine d'heures, ce qui correspond à la durée d'une journée de travail dans des conditions de fatigue minimale si l'inclinaison du chemin parcouru est correctement choisie : ni trop forte, ni trop faible. Et il arrive à la conclusion que l'angle optimal est un angle de 30° ce qui correspond pour le marcheur à élever la moitié de son poids pendant sa marche. Bernoulli en conclut que l'écartement des marches des cages d'écureuil doivent correspondre précisément pour l'homme qui est à l'intérieur à une marche sur un plan faisant une inclinaison de 30° avec l'horizontale.

⁶⁰⁵ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II*: 276

⁶⁰⁶ *Ibid.*: 276 (§ 4)

⁶⁰⁷ Puissance est pris ici au sens actuel en physique d'une énergie fournie en un temps donné

Ces conceptions se retrouveront quasiment mot à mot un demi-siècle plus tard dans le discours d'un Coulomb, immédiat précurseur de l'entrée du concept de travail dans la physique théorique au 19^e siècle⁶⁰⁸, et également lecteur de Bernoulli :

[...] en supposant que nous ayons une formule qui représente l'effet, et une autre qui représente la fatigue, il faut, pour tirer le plus grand parti des forces animales, que l'effet divisé par la fatigue soit un maximum.⁶⁰⁹

La fatigue est donc un facteur problématique pour Bernoulli ici au sens où il ne peut la calculer via la *potentia absoluta*. Il faut donc prendre garde que les machines soient réglées de sorte à ce qu'elles provoquent la fatigue minimale pour un travail donné. Ainsi, un même travail provoquera une même fatigue, et c'est uniquement à cette condition que Bernoulli pourra raisonner à partir de son concept de *potentia absoluta*, dont l'utilité est de caractériser le travail humain. Si chaque opérateur fonctionne à fatigue minimale pour un travail donné, on sera alors en mesure de comparer différents travaux entre eux. Bernoulli s'attarde peu sur cette question de la fatigue, mais il nous apprend tout même que sa dépendance est fonction des mêmes trois paramètres que la *potentia absoluta*, quoique d'une manière plus composée, sans pouvoir préciser la nature de cette composition. La vitesse, notamment, semble jouer plus fortement sur la fatigue résultante. Nous verrons que dans un texte de 1753, dont l'analyse figure en dernière partie de cet article, il prendra la peine de justifier dans le détail ses positions.

Le labeur d'un homme, son travail, est donc ce qu'il produit et non sa fatigue, même si celle-ci doit être prise en compte dans la conception des machines. Quelle que soit la manière dont l'homme emploie ses forces, ce qui est utilisé mécaniquement est l'*effet exercé* sur la machine par la *puissance mouvante*. La *potentia absoluta* ainsi comprise est l'image directe du travail des hommes (travail appliqué et non travail physiologique), mais, lorsque des éléments sont en jeu dans le mouvement mécanique, elle ne dit rien sur la force originelle des éléments, en dehors de leur médiation par la machine, et donc ne dit rien d'un quelconque "travail" des éléments. En revanche, l'effet exercé sur la machine par un homme, alias la *potentia absoluta*, alias le labeur, le travail d'un homme, est quantitativement différente de la fatigue éprouvée par lui. Bernoulli choisit donc ici de mettre en avant le travail des hommes :

⁶⁰⁸ VATIN, *Le travail, économie et physique: 36-56 Chez Coulomb, le terme de quantité d'action remplacera celui de puissance absolue.*

⁶⁰⁹ COULOMB, "Résultat de plusieurs expériences Destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces": 256 Ce texte est identique à celui figurant dans les mémoires de l'académie des sciences de 1799. Des versions antérieures avaient été présentées en 1778, 1780 et 1798. Il faut noter que, dans ce texte, Coulomb fait référence au texte de Bernoulli ayant remporté le prix de l'Académie Royale des Sciences de 1753, que nous étudions dans la dernière partie de cet article.

c'est ici la valeur de référence, vraisemblablement car elle est perçue comme économiquement significative. C'est le travail des hommes que l'on paye, ou que l'on cherche à remplacer. C'est donc par rapport à lui que doit se fonder une échelle de comparaison, et c'est en grande partie dans cet état d'esprit que sont nées les premières notions de travail mécanique.⁶¹⁰

4.C.c. EFFET EXERCÉ, EFFET PRODUIT : LA MESURE DE L'IDEALITE.

Mais l'effet *exercé sur* la machine est-il le même que l'effet *produit par* la machine ? Non, à moins que nous faisons en sorte qu'il n'y ait nulle friction et nul effet inutile, comme stipulé dans la règle 2:

“Avec la même *puissance absolue* donnée, je dis que toutes les machines qui ne souffrent d'aucune friction et qui ne génèrent aucun mouvement inutile pour la fin proposée maintiennent le même effet, et qu'on ne doit donc pas en préférer une à une autre.”⁶¹¹

Nous comprenons bien la référence aux frictions, mais en quoi consistent exactement les mouvements inutiles susnommés? Pour bien le saisir, envisageons deux cas: la Figure 45 (correspondant à la figure 45 de la p. 274 dans le texte de Bernoulli) et la Figure 46 (numérotée 48 chez l'auteur, p. 279). Sur la première est représentée la pompe la plus simple que Bernoulli utilise. Le poids P est égal au poids du volume d'eau contenu dans la colonne HABI. Ainsi tout se passe comme si le niveau de l'eau montait jusqu'en HI et donc, de par le principe de l'égalité de la descente réelle et de la remontée potentielle, le jet sortant en F va monter jusqu'à la hauteur de HI, c'est-à-dire en G, si nous annulons mentalement les pertes, qui pourtant ne manqueraient pas de se produire sur les parois. Toute la puissance absolue est donc utilisée pour amener l'eau en G. Maintenant examinons la figure suivante : la partie gauche est identique, et le poids P correspond au poids du volume d'eau situé entre le niveau du plateau qui soutient le poids et le niveau se trouvant à la hauteur de G. Mais sur la partie droite la remontée de l'eau s'effectue dans un tuyau à partir de l'ouverture D, et qui s'incurve pour aboutir à la sortie F. Donc ici, l'eau s'est vue imposer une certaine puissance absolue qui aurait pu avoir comme résultat de faire remonter l'eau en G, mais ce résultat n'a pu avoir lieu, contraint par la structure à sortir alors qu'elle pouvait encore exercer un certain effet. On

⁶¹⁰ Amontons, en 1699 déjà, ne procédait pas autrement (AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les machines"). Ainsi en est-il également de toutes les tentatives de comparer la force des hommes et des chevaux, ou leurs travaux respectifs (La première mention que nous connaissons d'une tentative expérimentale de ce genre de comparaison figure dans : ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES & FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE Mémoires de l'Académie royale des sciences depuis 1666 jusqu'en 1699, 11 vols., vol. 1, Paris, Compagnie des libraires, 1729: 70 sq

⁶¹¹ BERNOULLI, Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, Technologie II: 277 (Sect. IX, § 5) Nous traduisons.

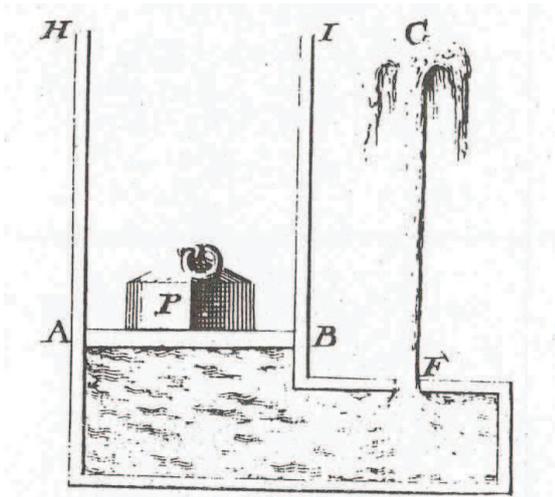


Figure 45 : Pompe la plus simple envisagée par Bernoulli

aurait donc pu avoir un poids P inférieur pour le même résultat, le même effet produit. On a donc gaspillé de la *potentia absoluta*, c'est-à-dire qu'on en a imprimé trop par rapport à ce qu'on voulait obtenir. De même, si l'on reprend la première figure, si nous nous arrangeons pour récupérer toute l'eau qui arrive en G , et qui a donc une vitesse nulle, nous pourrions dire que toute la *potentia absoluta* aura été utilisée. Mais si nous plaçons le bac disons un mètre plus bas, par exemple, alors l'eau va s'élever jusqu'en G puis retomber de 1 mètre, et ainsi nous aurons utilisé

trop de *potentia absoluta* que nous n'en aurions dû. Voilà ce que Bernoulli appelle mouvement inutile.

Ainsi donc dans ce cas seul, le cas idéal, l'effet exercé sur la machine, la *potentia absoluta*, et l'effet produit par la machine, en viennent à se confondre dans une symbiose fictionnelle. Car c'est bien une fiction, une fiction rationnelle, qui permet au phénomène général et au comportement réel de coïncider. C'est par différence vis-à-vis de cette chimère théorique atteinte par pure et arbitraire annulation des contraintes réelles signant l'impossibilité du mouvement perpétuel, sur cette représentation industrielle de l'idée de conservation, que va se penser le mouvement des machines réelles. Remarquons donc que la *potentia absoluta* est une mesure de ce que l'on applique à l'entrée, de l'*input*, et non pas de ce que l'on a à la sortie, de l'*output*, concept pour lequel Bernoulli utilise le terme d'effet, à moins bien sûr que l'on soit dans le cas idéal.

La machine devient donc compréhensible par différence avec l'idéalité choisie, cette dernière devenant ainsi une hypothèse de travail. Mais encore faut-il savoir quantifier cette perte de puissance absolue ("*dispendium potentiae absolutae*"⁶¹²). C'est l'objet de la règle 5.

4.C.d. UNE PERTE DE POTENTIA ABSOLUTA

Considérons la Figure 46, nous dit Bernoulli dans cette règle. De l'eau en ABD est élevée plus haut en F. Par hypothèse, la vitesse moyenne sortant de F est due à la hauteur FG. Alors la perte de potentia absoluta est à la potentia absoluta totale comme FG est à la différence de hauteur entre A et G :

$$\frac{\Delta PA}{PA} = \frac{FG}{AG}$$

Pourquoi cela ? Voici la preuve avancée par le savant bâlois : si nous élargissons progressivement l'ouverture F tout en gardant le même débit, alors il arrivera un point à partir duquel on peut considérer que la vitesse sortante est insignifiante, donc proche de zéro, donc quasiment égale à la vitesse de l'eau au point G si on lui laissait la possibilité de monter jusque là. Considérons alors la puissance mouvante à l'œuvre : dans le cas de l'eau qui a une

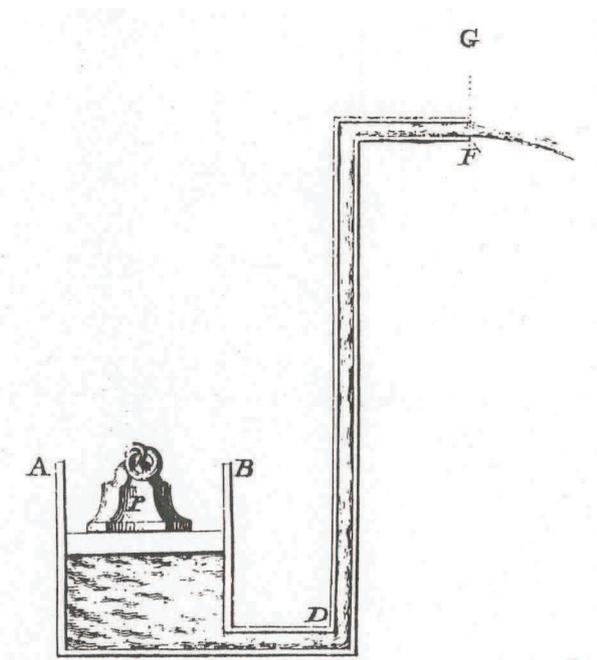


Figure 46 : Pompe à tuyau courbé

vitesse nulle en G, cette puissance mouvante P_G n'est autre que le poids situé au dessus du plateau AB, poids proportionnel à la hauteur de la colonne d'eau AG dans ce cas. Mais dans notre cas, où c'est en F que l'eau acquiert une vitesse nulle, nous pouvons dire que la hauteur d'eau en cause est la différence de niveau entre le point A et le point F, et la puissance mouvante correspondante sera notée P_F . Donc nous avons alors deux puissances mouvantes différentes mais la vitesse de ces puissances reste identique dans les deux cas, puisque le débit à la sortie reste constant. Alors, comme la potentia absoluta n'est autre que la puissance mouvante par la vitesse et par le temps, et que l'on considère les mêmes

⁶¹² Ibid.: 280 (Sect. IX, §10)

durées, il vient (avec PA_G la potentia absoluta due à la puissance mouvante P_G et PA_F la potentia absoluta due à la puissance mouvante P_F , et le signe \propto signifiant *proportionnel* à) que la différence de potentia absoluta ΔPA est égal à :

$$\Delta PA = PA_G - PA_F = (P_G - P_F) \cdot v \cdot t \propto (AG - AF) \cdot v \cdot t = FG \cdot v \cdot t \quad (1)$$

La *potentia absoluta* totale étant proportionnelle quant à elle à $AG \cdot v \cdot t$, nous avons alors logiquement que :

$$\frac{\Delta PA}{PA} = \frac{FG}{AG}$$

La différence de *potentia absoluta* est donc la *potentia absoluta* perdue, et elle est égale à :

$$\Delta PA = \frac{FG}{AG} \cdot PA$$

Ou, pour reprendre les notations de Bernoulli ($FG=B$, $AF=A$, et la *potentia absoluta* $PA=P$, attention P ici ne représente pas le poids \underline{P}) :

$$\Delta P = \frac{B}{A+B} \cdot P$$

Curieuse manière de démontrer cela, n'est-il pas ? En effet, il lui suffirait de dire que la *potentia absoluta* est dimensionnellement identique à la force vive (c'est-à-dire $P.H$), et que la différence de force vive entre un fluide qui s'élève en G et un fluide qui s'élève en F est simplement alors égale à $P.AG - P.AF = P \cdot FG$. Suite à quoi nous pouvons faire les rapports et assimiler cette perte de *potentia absoluta* à une perte de force vive, tellement plus habituelle dans l'œuvre de Bernoulli... Certes. Mais Bernoulli n'en fait rien. On cherchera vainement le terme de force vive dans cette section. Ceci n'est en fait pas si surprenant. En effet, la première question posée dans cette section est celle de l'emploi du travail des hommes pour mouvoir des machines hydrauliques. Or le travail des hommes n'est pas à cette époque évalué en termes de force vive produite, mais en termes de force appliquée en mouvement. En outre, si la force vive peut se convertir en travail mécanique, comme nous l'avons aperçu dans l'analyse de la section X, la conversion réciproque n'est en revanche jamais mentionnée. Nulle surprise alors de ne pas voir la *potentia absoluta* traitée en termes de force vive.

Ce que Bernoulli fait sous nos yeux c'est ni plus ni moins que de mettre en place de nouveaux outils adaptés au calcul de l'effet des machines mues par une puissance étrangère, c'est-à-dire principalement par les hommes, domaine qu'il considère comme suffisamment conceptuellement différent du reste de la théorie qu'il met en place pour se voir contraint de prendre les choses sous un autre angle. C'est donc parce que nous nous plaçons là dans une

sphère productive que Bernoulli sent la nécessité d'utiliser d'autres concepts que ceux de la science théorique.

Nous pouvons mesurer toute la distance qui existe entre la section X, où De Berg croyait lire une connexion entre travail et force vive, et la section IX ici présente, entre la *force vive potentielle* et la *potentia absoluta*, entre une mesure de la force vive s'exprimant dans le schème de la conservation et une mesure du travail mécanique développé par une machine où se produisent des pertes, frictions et dépenses inutiles. D'où l'utilité d'avoir exposé la partie de la section X en question, pour constater l'ampleur de la différence.

Bernoulli raisonne dans des domaines différents. Bernoulli met en place des outils différents. La dichotomie qu'il exerce est symptomatique. Aucun lien ne peut exister, si ce n'est l'axiome tenu qui vient en tête de tout cela, à savoir l'égalité de la descente réelle et de la remontée potentielle : en effet le poids P, égal au poids d'une colonne d'eau, peut faire monter l'eau jusqu'à une hauteur égale à la hauteur de cette colonne d'eau que le poids remplace. On entrevoit ce lien discret dans quelques lignes de la règle 8, pages 288-289, dans laquelle il compare la *potentia absoluta* et l'ascension potentielle. Néanmoins, il faut bien remarquer que l'application de ce poids résulte d'une action artificielle, humaine, car on parle de l'action de pompes ne l'oublions pas, et pas d'un phénomène "naturel". En toute rigueur on ne saurait parler que d'une mise en correspondance initiale avec un axiome, pas réellement d'une équivalence entre la *potentia absoluta* et la force vive, et certainement pas d'une identité entre ces deux notions.

Par la suite, il démontre, par la règle 6, que si le plateau AB n'est pas exactement ajusté au piston, il se produit alors un autre type de perte de *potentia absoluta*, du fait des fuites ainsi créées. Vient après une description de la machine de Perrault, qui n'échappe pas à la règle.

Mais un nouvel argument va bientôt nous éclairer sur la manière dont Bernoulli conçoit son fameux concept. Tout ce que nous venons de dire correspondait à la première partie de la section IX, et qui traitait de machines qui éjectent de l'eau avec un certain impetus. Dans la seconde partie, où se trouve notre argument, Bernoulli va naturellement exposer des machines hydrauliques transportant de l'eau d'un point bas vers un point haut sans impetus notable. On pensera notamment aux norias, ces machines constituées de godets plongeant renversés dans la rivière, et remontant à l'endroit, servant notamment à l'irrigation.

4.C.e. ELARGISSEMENT DU CONCEPT DE *POTENTIA ABSOLUTA*

Bernoulli dans la deuxième partie de la section IX, se place dans les cas où les fluides sont projetés sans *impetus* notable.

4.C.e.i LA *POTENTIA ABSOLUTA* ELEMENTAIRE

La règle 10⁶¹³ arrive d'entrée de jeu pour poser que dans les cas dont il est question dorénavant, la *potentia absoluta* doit être estimée par la même voie que précédemment. Or maintenant, la puissance mouvante est variable. Il convient donc d'employer une nouvelle fois le calcul différentiel et intégral, que notre homme connaît bien, pour se sortir d'affaire. Ainsi donc si un poids *A* monte à la hauteur *y* avec la vitesse *v* variable, et qu'il soit animé à une certaine hauteur d'une puissance mouvante *P*, l'intervalle de temps élémentaire *dt* pendant lequel le poids sera élevé de la distance *dy* sera égal à *dy/v*. Si nous multiplions celui-ci par la puissance mouvante *P* et par la vitesse *v*, nous obtenons l'"*elementum potentiae absolutae*"⁶¹⁴, c'est-à-dire la *potentia absoluta* élémentaire, égale à *P.dy*. On en tire l'intégrale $\int P \cdot dy$ qui nous

donne la puissance absolue totale. Cette application du calcul différentiel et intégral est essentielle dans la maturation du concept car elle permettra de penser mathématiquement les objets en mouvement non constant, en régime non stationnaire (cependant Bernoulli ne raisonne ici qu'en stationnaire). A présent, observons la figure ci contre.

La force résultante qui s'exerce sur le godet est *P-A*. Si nous divisons cette force par la masse du godet, et que nous multiplions le tout par *dt*, c'est-à-dire *dy/v*, nous obtenons la

$$\text{différentielle de la vitesse } dv. \text{ Soit } dv = \left(\frac{P-A}{A} \right) \cdot \frac{dy}{v}$$

$$\text{Ou : } A \cdot v \cdot dv = P \cdot dy - A \cdot dy$$

Il suffit alors d'intégrer : $\int P \cdot dy = \frac{1}{2} A v^2 + A \cdot y$ et en prenant pour les bornes de *v*, 0 , par hypothèse, et pour *y*, 0 et *a*, *a* étant la hauteur jusqu'à laquelle s'élève le godet :

$$\int P \cdot dy = A \cdot a .$$

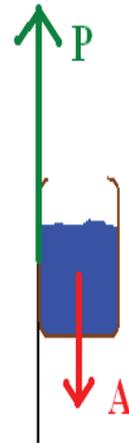


Figure 47 : Godet d'une noria sur lequel s'exerce son propre poids et la puissance mouvante.

⁶¹³ *Ibid.*: pp. 290-91.

⁶¹⁴ *Ibid.*

Donc comme l'intégrale ci-dessus est l'expression de la *potentia absoluta* totale, celle-ci est égale à *A.a*.

4.C.e.ii LA *POTENTIA ABSOLUTA* NE DEPEND PAS DU CHEMIN PARCOURU MAIS SEULEMENT DE LA HAUTEUR.

C'est alors que Bernoulli fait une intéressante remarque sous forme de corollaire⁶¹⁵ : si au sommet de sa trajectoire le godet possède encore une vitesse résiduelle, qui lui permette de s'élever encore à une hauteur *b*, la *potentia absoluta* totale sera de $A(a+b)$. Le scolie 2⁶¹⁶ étend ce corollaire au cas de machine élevant de l'eau non plus verticalement mais de manière inclinée. La référence à Galilée et à ses expériences sur les plans inclinés est alors évidente, et Bernoulli en vient à énoncer le scolie général⁶¹⁷ qui est ce que nous voulons mettre en avant. Il déclare en effet que nonobstant les frictions et les pertes de *potentia absoluta* la valeur de cette dernière, comme il a été démontré, ne dépend pas du chemin parcouru, mais simplement de la différence de hauteur entre le point le plus haut et le point le plus bas. Et alors s'établit enfin un contact :

La *puissance absolue* a ceci en commun avec la force vive ou avec la descente ou remontée réelle [ascensu descensuve actuali]⁶¹⁸

On voit toute la distance qui sépare ces deux concepts dans l'esprit de Bernoulli. Ils ont un point en commun, le fait de ne dépendre que de la hauteur, et non de la distance, parcourue. Ce caractère commun, énoncé au détour d'un paragraphe, noyé au milieu de cette section, ne fonde en aucun cas une identité, de l'aveu même de Bernoulli. Une équivalence alors, c'est-à-dire que nous pourrions remplacer un des concepts par l'autre et obtenir la même chose, même en donnant des significations distinctes à ces deux concepts ? Non plus. Bernoulli ne dit rien de tel : un caractère commun, c'est bien tout, de deux entités conceptuellement très différentes, que Bernoulli n'essaye pas pour l'instant de substituer l'une à l'autre. C'est finalement presque par accident qu'on en vient à trouver un caractère commun, énoncé plus comme une curiosité que comme une propriété fondamentale.

En outre, dans la suite de la section, notamment dans la troisième partie⁶¹⁹ Bernoulli s'intéressera à la *potentia absoluta* qui nait suite à l'application à une machine d'un élément naturel tel que le vent. Bien que la puissance motrice ne soit plus ici les hommes ou les

⁶¹⁵ *Ibid.*: p. 291 (Sect. IX, § 23).

⁶¹⁶ *Ibid.*: p. 292 (Sect. IX, § 25).

⁶¹⁷ *Ibid.*

⁶¹⁸ Nous soulignons.

⁶¹⁹ Page 305-312.

animaux, mais un élément naturel, Bernoulli parlera alors encore de *potentia absoluta.*, puisque cette dernière se réfère à la *puissance mouvante*, la pression exercée sur la machine, quelle qu'en soit l'entité responsable.

Examinons cette troisième partie.

4.C.f. CALCUL DE LA POTENTIA ABSOLUTA UTILE DANS LES MACHINES CONDUITES PAR UN FLUIDE MOTEUR

Nous reportons le lecteur intéressé à l'annexe du chapitre 4, ne souhaitant pas alourdir ici le discours par l'exposé des procédures calculatoires.

Dans la troisième partie de la section IX, Bernoulli s'intéresse aux machines qui sont conduites par l'impetus d'un fluide, comme par exemple la force du vent. Il tente donc d'étendre son sujet, en cessant de considérer les fluides uniquement sous leur dimension aqueuse bien qu'il ouvre cette partie par des considérations sur les moulins à eau.

4.C.f.i MACHINES HYDRAULIQUES DONT LES PALES SONT FRAPPEES DIRECTEMENT PAR LE FLUIDE : OU L'ON RETROUVE LES RESULTATS DE PARENT

A cette occasion, il va retrouver certains des résultats de Antoine Parent de 1704 (cf. chapitre 2). Il raisonne alors sur la Figure 48. Pour ce faire, il commence par réfuter l'opinion commune selon laquelle si l'eau sort d'un large cylindre au travers l'orifice D, avec une vitesse due à la descente depuis une hauteur égale à celle de la hauteur de l'eau dans ce

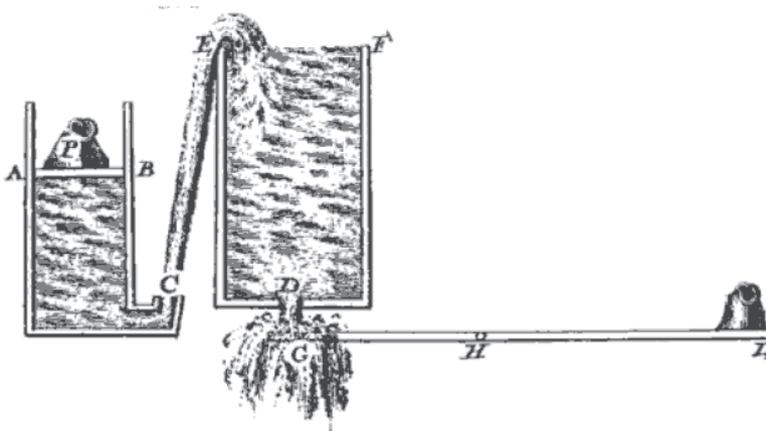


Figure 48 : Pompe alimentant un réservoir ouvert en D, permettant au fluide de frapper la pale HG

cylindre, et que le courant frappe directement une pale à la sortie de cet orifice, alors la pale sera en équilibre avec un poids égal à la colonne d'eau située au dessus de l'orifice. Il suppose

que les auteurs l'affirmant ont du être trompés par une fausse expérience, et qu'ils soutiennent donc une fausse théorie. Néanmoins, ajoute-t-il, n'ayant pas encore démontré la "vraie théorie", il se propose d'adhérer temporairement à la fausse. Une fois exposée la véritable, il sera facile, nous dit-il, de corriger le calcul. Ceci nous rappelle directement Huygens, qui comme on l'a exposé *supra*, a tout d'abord confondu poids statique et poids dynamique dans ses expériences de 1669, en passant à côté de la contraction de la veine d'eau qui intervient lorsqu'un fluide sort d'un cylindre dans une telle situation. Au-delà, cela sembler montrer que presque 35 ans après Parent, les raisonnements de ce dernier, que Pitot venait tout juste si ce n'est de "populariser" du moins de rendre plus accessibles, étaient encore peu connus des hydrauliciens.

Il propose alors de passer par un autre chemin que celui utilisé par ces auteurs, pour juger de l'efficacité d'une machine utilisant la force d'un fluide telle que l'eau pour tourner une pale (Figure 48). Il prend en considération un réservoir cylindrique (à droite) dont le fond percé permet à l'eau de frapper la pale, mais pas seulement puisqu'il y adjoint une pompe, similaire à celles qu'il a décrit auparavant. Ici l'eau arrive en E avec une vitesse presque nulle. On peut s'interroger sur la nécessité de faire encore figurer une pompe : elle a pour but de pouvoir utiliser son concept de *potentia absoluta*, qui se rapporte à l'effet qui est donné à l'entrée de la machine. Dans l'optique qu'il se donne, il doit donc calculer cette *potentia absoluta* donnée à l'entrée pour pouvoir chiffrer l'efficacité de la machine, déduite par différence avec la *potentia absoluta* effectivement utilisée pour la fin définie.

Ainsi la *potentia absoluta* dans le circuit de la machine est toujours comprise comme une part de celle initialement produite. L'œil se tourne toujours du côté de l'entrée, c'est la condition même du jugement de la machine.

Pour le calcul, appelant :

- m la surface de base du cylindre de gauche
- n la surface d'une section de base de la colonne CE, ainsi que la surface de l'orifice D du cylindre de droite,
- v la vitesse de l'eau s'échappant de C,
- P comme le poids total de l'eau contenue dans le cylindre de gauche,
- et p le poids de la colonne d'eau CE, qui est aussi le poids de la colonne d'eau situé au dessus de l'orifice D, il pose

$$P = \frac{m}{n} p$$

d'après l'égalité des pressions du fluide du cylindre de gauche et de la colonne CE (quotient

du poids et de la surface). Ceci représente la puissance mouvante du fluide, définie dans le §2. de la même section⁶²⁰, et exposée plus haut. Dès lors, suivant la définition de son §3, la *potentia absoluta* dépensée pour propulser l'eau à travers C est

$$P \cdot V \cdot t = \frac{m}{n} p \cdot \frac{n}{m} v \cdot t = pvt$$

puisque la vitesse V à laquelle l'eau du cylindre de gauche descend est égale à $\frac{n}{m} \cdot v$ du fait de

la conservation du débit. Dès lors, considérant d'une part la force de pression du jet d'eau sortant de D sur la pale en mouvement comme proportionnel à $(v - V)^2$, et la force de pression de ce même jet, mais sur une pale immobile, comme proportionnel à v^2 , il montre que cette "pression" est égale à

$$\left(\frac{v - V}{v} \right)^2 p$$

Considérant cette expression comme la force mouvante s'exerçant sur la pale en mouvement il la substitue au poids G, et en déduit la *potentia absoluta* "requis pour la rotation du bras de levier durant le temps t à la vitesse V" comme égale à

$$\left(\frac{v - V}{v} \right)^2 p \cdot V \cdot t$$

Dès lors, "si le bras de levier LG n'est pas mis en rotation immédiatement, mais le fluide élevée à la hauteur CE avec l'intention que le courant du fluide, par son impulsion sur G pour la rotation du levier élève l'eau depuis l'autre partie", la *potentia absoluta* totale sera à

la *potentia absoluta* utile comme $p \cdot v \cdot t$ est à $\left(\frac{v - V}{v} \right)^2 p \cdot V \cdot t$, c'est-à-dire comme v^3 à

$(v - V)^2 \cdot V$. Par conséquent la *potentia absoluta* totale sera à la *potentia absoluta inutile*, comme v^3 à $(v^3 - v^2 \cdot V + 2vV^2 - V^3)$.

Ce rapport des *potentia absoluta*, signature de l'efficacité de la machine, lui permet dans le §36 qui suit immédiatement, de mettre en lumière la mauvaise méthode de construction des moulins de son époque prônée par les auteurs de son époque. Il fait en effet très à propos remarquer que dans presque toutes les machines dans lesquelles le principe de mouvement consiste en l'impulsion d'un fluide, il arrive ordinairement que la vitesse V de la pale qui soutient l'*impetus* du fluide, est très petite par rapport à la vitesse v du fluide. Mais,

⁶²⁰ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II*: 275

précise Bernoulli, dans ces machines la plus grande part de l'effet qui pourrait être obtenu avec la même quantité de fluide mu à la même vitesse est perdu.

Pour comprendre la différence entre le comportement d'une roue hydraulique dont le poids de mouvement donnerait le plus grand effet, et une roue dont l'effet serait donné par le plus grand poids susceptible d'être mu, et donc où la vitesse est très petite, Bernoulli nous propose d'observer le rapport de la *potentia absoluta* utile sur la *potentia absoluta* totale, soit

$\frac{(v-V)^2 \cdot V}{(v^3)}$, c'est-à-dire $\frac{V}{v} - 2\left(\frac{V}{v}\right)^2 + \left(\frac{V}{v}\right)^3$. En faisant tendre $\frac{V}{v} \rightarrow 0$, on s'aperçoit que le

rapport de la *potentia absoluta* utile sur la totale tend également vers 0.

C'est une condamnation de la pratique courante des machinistes dont toute la science consistait à déterminer le poids statique pouvant égaliser la force du fluide reçu par une pale immobile. Cette critique rejoint celle qu'Antoine Parent adressait aux machinistes trente quatre ans auparavant dont

toute la perfection [...] s'est bornée à [...] mettre [les machines destinées à élever des poids] d'abord en équilibre avec la charge qu'il s'agissoit de faire monter, & à diminuer ensuite au hasard cette charge [...] ou [...] quelque chose d'équivalent, afin que la puissance motrice l'emportant sur sa charge, elle mit la machine en mouvement. [...] ⁶²¹.

Plus de trente ans après, donc, les machinistes ne semblent pas avoir suivis les judicieux conseils des sages mécaniciens. Le discours de ceux-ci, Bernoulli compris, ne doit pas nous laisser croire que la seule raison réside dans la méconnaissance ou la mauvaise grâce de certains machinistes et propriétaires. Elle doit être également, et surtout, cherchée dans l'incapacité même de la théorie à décrire les objets techniques jusqu'à cette époque. En l'occurrence, ce n'est qu'à la fin des années 50 avec l'anglais Smeaton, que les théoriciens se rendront compte du fossé qui sépare encore la technologie et la pratique.

Dans le §.37, Bernoulli énonce quelle vitesse V de la pale permet d'obtenir la plus grande *potentia absoluta*, sans expliciter le calcul, et affirme qu'elle est égale au tiers de la

vitesse v du fluide. Ceci peut trivialement être montré en différenciant $\left(\frac{v-V}{v}\right)^2 p \cdot V \cdot t$ par

rapport à V , et en cherchant quelles V égalisent la dérivée à la valeur nulle. On obtient alors l'équation de second degré suivante :

$$\frac{3}{v^2} \cdot V^2 - \frac{4}{v} \cdot V + 1 = 0$$

dont les deux solutions, réelles, sont

⁶²¹ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 324

$$V = \frac{v}{3} \text{ et } V = v,$$

et dont la première représente la valeur maximale de la fonction. En la reportant dans l'expression de la *potentia absoluta*, on obtient la *potentia absoluta* maximale comme égale à

$$\frac{4}{27} p \cdot v \cdot t,$$

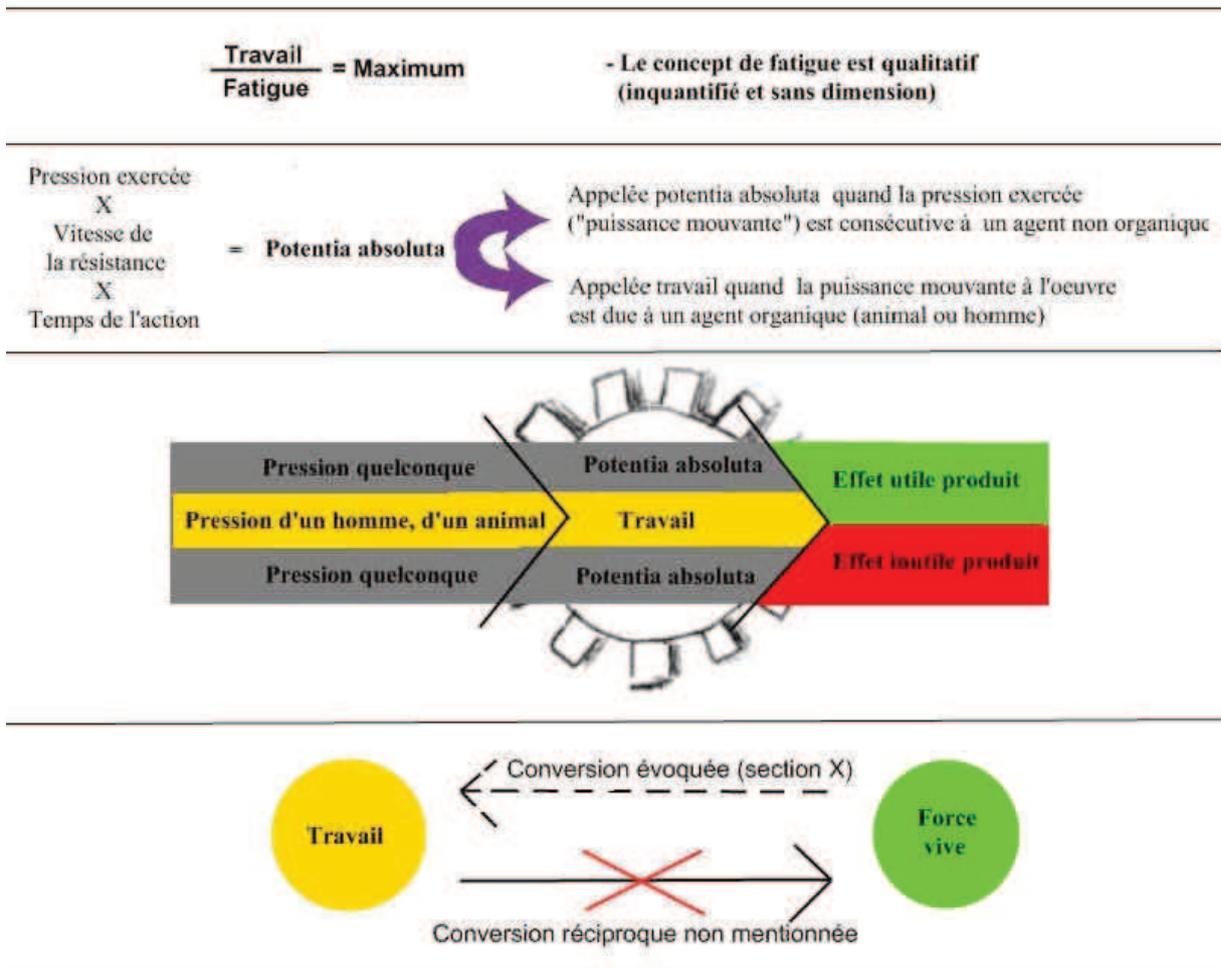
soit une perte de 23/27 de la *potentia absoluta* initiale. Il suffit alors pour atteindre cet extrémum, de faire varier la longueur du bras de levier, de sorte à obtenir une vitesse de la pale égale à un tiers celle du fluide. Bernoulli nous offre ici un calcul beaucoup plus simple et plus lisible que celui de Parent en 1704, tout en obtenant les mêmes résultats. Néanmoins dans la conception de Bernoulli, la *potentia absoluta* est en dernière analyse toujours rattachée à la force motrice des hommes élevant l'eau : ce retour de 4/27 est alors rattaché de manière beaucoup plus claire que chez Parent, à un référent anthropomorphique.

4.C.f.ii CALCUL POUR LES PALES OBLIQUES PAR RAPPORT AU FLUIDE

Pour ne pas alourdir le texte, nous reportons le lecteur intéressé à l'annexe du présent chapitre, où nous détaillons les calculs.

4.C.g. CONCLUSION SUR L'HYDRODYNAMICA : QUELLE PERRENITE POUR LA POTENTIA ABSOLUTA ?

Nous avons donc encore affaire dans cette troisième partie à une *potentia absoluta*. *Potentia absoluta*, et non pas travail : en effet le mot même de *travail* est réservé sous la plume de Bernoulli, aux hommes et aux animaux. Les éléments, par nature, ne sauraient *travailler*. Néanmoins la *puissance mouvante* dont ils sont capables, la pression résultante, celle dont il est question dans la première règle suscitée, peut développer une *potentia absoluta*, un travail mécanique s'exerçant par un dispositif machinique, à condition de prendre en compte une puissance mouvante continue, capable de s'auto entretenir. Maîtrisons cette subtilité, essentielle : ce ne sont pas les éléments en eux-mêmes qui sont capables de créer une *potentia absoluta*. On ne saurait en effet la rattacher proportionnellement à une mesure de leur force totale. C'est la pression, qu'ils exercent sur des machines qu'ils mettent en mouvement, qui engendre une *potentia absoluta* ensuite utilisée avec plus ou moins d'efficience par la machine. Autrement dit ce n'est que la médiation de la machine qui permet



non à un travail⁶²². Néanmoins on en retrouve une partie de l'acception lorsque Bernoulli parlera de travail des hommes, notamment des rameurs. Il le fera incidemment en 1742 dans une lettre à Euler⁶²³, puis de manière tout à fait développé dans le prix de l'Académie Royale des Sciences de Paris qu'il remporta en 1753. La pensée de Bernoulli, cependant, subit de notables évolutions pendant les 20 ans qui séparent les premières versions de l'Hydrodynamica de ce dernier texte. Nous allons alors assister à une franche mise en contact des concepts de travail et de force vive. Ici Bernoulli considérera que le navire est une machine, ce qui est à l'époque une considération relativement neuve⁶²⁴. Cette considération lui permet d'appliquer à celui-là les concepts de travail et d'optimisation. Voyons comment.

⁶²² BERNOULLI, "Commentation de utilissima ac commodissima directione potentiarum frictionibus mechanicis adhibendarum" Il fait d'ailleurs remarquer à la toute fin du texte, § 12, que la force ainsi définie est différente du "travail", car dans ce dernier on doit considérer le trajet : "Haec dum explorata habcantur, tutissime hac regula utemur, laborem quemcunque aestimandum esse ex potentia adhibita et ex motu ad directionem potentiae relato, modo simul defatigationis, quae soli incessui libero debetur, ratio habeatur." (p. 218)

⁶²³ Lettre de Daniel Bernoulli à Leonhard Euler du 14 avril 1742 (n°XXIV) in EULER, LEONHARD, BERNOULLI, DANIEL, BERNOULLI, JOHANN I, BERNOULLI, NICOLAS I, BERNOULLI, NICOLAS II & GOLDBACH, CHRISTIAN, FUSS, P. H. (éd.), Correspondance mathématique et physique de quelques célèbres géomètres du XVIIIe siècle, précédée d'une notice sur les travaux de Léonard Euler tant imprimés qu'inédits, et publiée, sous les auspices de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg., 2 vols., vol. 2, Saint-Pétersbourg, Imprimerie impériale des Sciences, 1843: 490-494 On lit, p. 493-494, dans un mélange germano-latin : "Ohne Zweifel kommen Sie mit mir in dem principio überein, dass der labor absolutus operarii pro dato tempore aestimirt werden ex pressione quam exercet contra remum et velocitate quacum remum agitatur in eodem puncto cui pressio applicata est."

⁶²⁴ SERIS, Machine et communication: 123-157

4.D. L'EVOLUTION DE LA PENSEE DE BERNOULLI

Bernoulli se révèle dans ce texte beaucoup plus enclin à supprimer la distance entre travail et force vive. La volonté de dissoudre la distinction entre théorie et pratique, bien que présente précédemment, va être maintenant beaucoup plus franche, par un mouvement de mise en contact des concepts. Pourtant il semble subsister dans ce texte une sorte de point d'hérésie, pour nous autres modernes. Si en le lisant distraitement on peut croire que l'auteur se répète, parlant tantôt de force des hommes, tantôt de travail des hommes, ou bien d'effet du travail, ou encore de force vive, en donnant l'impression au lecteur moderne que ces différences de vocable ne recouvrent qu'un souci de diversité de la langue, on comprend en y regardant de plus près que ces termes ne sont pas choisis au hasard : Bernoulli fait bien la différence entre ces termes, notamment entre travail et force vive. Et s'il parvient à l'idée que le travail puisse être une source de force vive en soi, la réciproque restera généralement invérifiée en l'absence d'une médiation machinique : la nature, seule, ne saurait produire du travail. L'impression de répétition tient plutôt à notre formation, qui admet la conversion entre travail et force vive (ou plutôt énergie cinétique, suivant la traduction imparfaite du 19^e s.), et à l'ambiguïté du mot travail, que ce soit dans son acception actuelle ou du 18^e s., qui désigne autant le travail en tant que tel, en train de se faire, que le résultat dudit travail, autrement dit son effet.

Prenons les choses chronologiquement. Le titre de la pièce reprend l'intitulé du prix de l'Académie (*Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du Vent sur les grands Vaisseaux, soit en y appliquant les Rames, soit en y employant quelque'autre moyen que ce puisse être*), mais y rajoute la précision suivante : *fondées sur une nouvelle Théorie de l'économie des forces et de leurs effets*⁶²⁵. Notons dès à présent cette dichotomie entre forces et effets, sur laquelle nous reviendrons plus tard. Bernoulli annonce donc dès le départ qu'il se place sur le registre de l'optimisation, au travers du mot économie, à prendre au double sens d'une harmonie générale et d'une épargne⁶²⁶.

Dans le cas des rames, qu'il examine en premier et durant presque la totalité de son mémoire, à l'exception des dernières pages, il s'agit, nous dit-il, de savoir si les forces

⁶²⁵ Pour étude sur l'ensemble de ce mémoire, on consultera l'excellente analyse qu'en fait Frans Cerulus dans BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, Technologie II: 35-72* Il y expose comment Bernoulli utilise le concept de travail dans le cadre d'une optimisation de la machine, mais passe rapidement sur le concept lui-même. Nous souhaitons ici apporter un complément sur ce que ce concept recouvre exactement dans l'esprit de Bernoulli.

⁶²⁶ Le classique dictionnaire de Furetière indique à l'art *Oeconomie* : "Ménagement prudent que l'on fait de son bien" ; "Bel ordre et disposition des choses". FURETIERE, *Dictionnaire universel*

employées à mouvoir le navire sont toutes utilement employés ou non, et dans l'hypothèse négative, comment atteindre à l'idéal. Ce qui nécessite d'une part une théorie sur les forces de l'homme, qui manœuvre les rames, ainsi qu'une connaissance exacte des forces requises pour propulser un navire.

La force motrice du navire, ici, est donc l'homme. Mais, c'est là tout le problème, comment la quantifier? En effet, contrairement aux éléments naturels qui fournissent en permanence de la force vive pour peu qu'on ait une source constante, les hommes peuvent éprouver la fatigue, qui les rend inapte à toute action passé un certain stade. Bernoulli le dit explicitement : la fatigue est "la seule chose qu'il faille considérer" (art. II, p. 4 de son mémoire). Tout le problème est donc de savoir ménager la fatigue au mieux, afin que dans le temps que dure l'action, les hommes puissent donner une action la plus grande qui soit pour une fatigue dont ils puissent récupérer en une nuit. Il reprend ici la question de la fatigue là où il l'avait laissé en 1738, dans le § 4 de la section IX de l'Hydrodynamica, pour la pousser plus loin. La fatigue en elle-même n'étant pas quantifiable, il faut donc trouver un indicateur qui lui soit proportionnel, permettant ainsi de l'estimer indirectement. Cet indicateur n'est autre que l'action dont nous venons de parler, c'est-à-dire le travail des hommes. Or, "on doit toujours estimer le travail absolu d'un homme par la pression qu'il exerce, par la vitesse de son point d'appui & par le tems" (Ibid.), soit $P.v.t.$, supposé donc proportionnel à la fatigue, ce qui ne va pas de soi. En effet, on le sent même intuitivement, et on le constate empiriquement, les diverses manières d'obtenir un même produit $P.v.t$ ne laisseront pas obligatoirement les hommes dans le même état de fatigue. Bernoulli prend l'exemple (p. 5) d'un homme soulevant vingt livres à trois pieds par seconde, un autre enlevant quatre livre avec une vitesse de quinze pieds par seconde, et un dernier élevant dix livres à six pieds par seconde. Si le premier pourra poursuivre son action pendant plusieurs heures, le second travail est hors des possibilités humaines, et le dernier homme se trouvera hors d'haleine au bout d'une heure.

4.D.a. LA FATIGUE, OU LES QUATRE REDUCTIONS DU TRAVAIL

Bernoulli, au contraire de la section IX de l'Hydrodynamica vue précédemment, va cette fois-ci prendre le temps nécessaire afin de fonder ce principe de la proportionnalité du travail à la fatigue par quatre réductions, puisque si le travail est la seule chose qu'on puisse mesurer, c'est bien la fatigue qui est le vrai facteur limitant.

Premièrement, il s'agit de rendre la fatigue proportionnelle au temps. Ainsi, si on regarde un type de travail donné, tel que faire mouvoir une machine particulière, et bien

construite, sur laquelle l'homme exercera une vitesse et une pression *constantes*, alors la seule différence proviendra du temps passé sur la machine, et, nous dit-il, « on ne saurait douter que dans ces circonstances les fatigues doivent être censées proportionnelles aux tems. » (§ III. P. 5) Il pose donc que la fatigue varie linéairement avec le temps, ce qui n'est pas évident puisqu'on pourrait concevoir par exemple que plus on est fatigué, plus l'effort nous coûte de fatigue à produire. Mais Bernoulli prend ici l'hypothèse qui lui semble la plus vraisemblable, car, il le dira dans le paragraphe suivant, la fatigue n'est pour lui que l'état consécutif à une dépense d'*esprits animaux*, qui chacun produisent la même action. Ainsi, appliqué à un même effort, la continuation de l'action demande le même nombre d'*esprits animaux*.

Secondement, il réduit le domaine d'étude, pour montrer que les fatigues sont également proportionnelles à $P.v$. En effet, nous dit-il, si on se place dans un domaine d'application limité, celui où les vitesses et les poids manipulés restent conformes à l'économie naturelle des agents agissants, alors les fatigues seront effectivement proportionnelles au produit $P.v$. quelles que soient les valeurs de P et de v , pourvu qu'elles soient adaptés à l'animal ou l'homme au travail.

Ces deux premiers points impliquent donc que la fatigue soit proportionnelle au travail $P.v.t$. Mais les hommes peuvent subir une infinité de travaux différents, qui mettent en œuvre une combinaison de muscles différents. Ainsi la nature des efforts mis en œuvre sera différente. «Cependant j'ai remarqué, qu'avec des fatigues égales, les hommes font constamment des effets à-peu-près égaux» (§ IV. p.6) : c'est bien là la nature de la troisième réduction. Celle-ci pouvant surprendre, il ne manquera pas de la vérifier expérimentalement dans le cours de son mémoire.

Enfin, il lui faut palier à une dernière insuffisance, qui a trait à l'inégalité entre les constitutions des hommes : on conçoit aisément qu'un homme robuste et vigoureux soit capable de plus de travail qu'un homme décharné. Peut être même le premier pourra-t-il faire trois à quatre fois plus de travail pendant quelques heures de temps, tandis que le second, à la constitution beaucoup plus faible, aura besoin d'un temps beaucoup plus long pour réaliser le même travail. Mais, nous dit notre auteur, «si chacun de ces deux hommes si différents en vigueur, étoit appliqué pendant un grand nombre de jours de suite à une même sorte de travail jusqu'à se fatiguer également, je doute si leurs effets seraient forts inégaux. Cette vérité se manifeste assez clairement chez les bêtes.» (§ V. p.8)

La justification de ces deux dernières affirmations étonnantes tient à la modélisation que Bernoulli opère concernant l'origine de la fatigue. Il conçoit en effet que les muscles sont

mus par des esprits animaux semblables à de petits ressorts bandés qui, en agissant, libère de la force vive, et dont le manque provoque la sensation de fatigue. D'après lui, chaque humain en posséderait une même quantité, de sorte qu'il semble que "la nature ait prescrit aux animaux une certaine conservation de forces naturelles pareille à celle qu'on connoit aux forces vives produites par la pesanteur naturelle" (I, § III, p. 6). On voit que derrière cette affirmation se joue un élément théorique : la réduction au modèle de la conservation des forces vives, dans une vision élastique de la matière. Par ailleurs, il nous semble qu'il se place, dans cette démarche, dans le schème de l'égalité entre cause pleine et effet entier, utilisé entre autres par Leibniz, et refusé par D'Alembert. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point dans la suite.

4.D.b. CE QU'EST LE TRAVAIL

Le travail, après ces quatre réductions, est donc l'image exacte de la fatigue, mais ne se confond pas avec elle⁶²⁷. Qu'est-il donc ? Premièrement, on l'a vu, il s'agit formellement du produit venant de la multiplication de la résistance éprouvée par l'homme (ou l'animal), de sa vitesse et du temps de l'action, traduisant la volonté d'une *mesure*. Deuxièmement, cette mesure est celle d'un *effet*, l'effet de l'organisme humain ou animal pendant le travail, afin de réduire son activité à un phénomène quantifiable. Cet effet s'inscrit dans un cadre non-statique, et s'exprime en vainquant une *résistance*. Troisièmement il se place dans un schème *productif*, car il est nécessaire de dépenser pour le produire le prix constitué par la fatigue, et on retire de lui un effet *optimisable*. Cette volonté d'optimisation n'est pas un jeu d'esprit : elle est à la base même du mémoire, examinant les navires comme des machines, dont on cherche qu'elles utilisent pour leur effet le maximum de la force donnée en entrée, afin d'utiliser le moins de travail qu'il soit possible au cinglage⁶²⁸ des navires. Cette motivation toute économique est martelée dans tout le mémoire. Par le titre même "une nouvelle théorie de l'économie des forces & de leurs effets" ; puis "Il s'agit sans doute de connoître, avant tout autre chose, si dans l'usage des rames, les forces mouvantes sont toutes utilement employées pour mettre un navire en mouvement" (I, §I. p. 4) ; par les questions qu'il se pose : "[...] quel est le plus petit nombre d'hommes possible pour fournir au dit travail pendant 8

⁶²⁷ Coulomb, en citant Bernoulli, se trompe quand il évoque ce texte : "Daniel Bernoulli [...] dit que la fatigue des hommes est toujours proportionnelle à leur quantité d'action [dimensionnellement identique à la potentia absoluta] , alors que Bernoulli prend justement soin de restreindre cette proportionnalité à un domaine défini. Cf. COULOMB, "Résultat de plusieurs expériences Destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces": 257-258

⁶²⁸ Cinglage : Chemin que fait un navire.

heures par jour ;” (I, §XIV, p.14) ; et encore : “si tout l’effet est utile, on tire le meilleur parti qui soit possible du travail des hommes.” (I, §XXXVI, 39). Ainsi le mémoire de Bernoulli apparaît comme fondé par une problématique d’allocation optimale de ressource rare, dans un contexte de *production*, c'est-à-dire que l’effet produit à un certain coût, à savoir la fatigue dépensée. Une autre caractéristique, enfin, est que cette notion de travail est associée à une autre force que la pesanteur, en l’occurrence ici les forces des hommes et des autres animaux.

Ces quatre caractéristiques sont précisément celles sur lesquelles repose le concept de travail mécanique tel qu’il émerge dans la physique théorique au 19^e siècle par l’entremise d’un petit groupe d’ingénieurs-savants, Coriolis en tête, et que nous avons identifié comme base de la définition de la notion de travail mécanique.⁶²⁹ C’est sur cette base que nous nous permettons de qualifier les occurrences que nous avons vu, d’antécédents du concept de travail mécanique. Antécédents qui ne sont pas, bien sûr, exactement le concept tel qu’il apparaîtra au 19^e siècle, mais qui entretiennent des rapports historiques identifiés par ses fondateurs mêmes.⁶³⁰

Cependant, si chez Coriolis l’effet des machines se mesurera grâce à ce nouveau concept, qui deviendra centre de son raisonnement, se transmettant de l’entrée à la sortie de la machine, Bernoulli ne raisonne pas exactement ainsi. Expliquons-nous : Bernoulli différencie nettement le travail de l’effet du travail. Et si le travail est une mesure de l’action des hommes, il ne caractérise que ce qu’on a à l’entrée de la machine. Quant à l’effet du travail des hommes, il s’agit de la quantité de force dont sont animés les objets consécutivement au travail des hommes. C’est là où nous pouvons observer à la fois une évolution sensible par rapport à son texte de 1738, ainsi que la subsistance d’un point d’hérésie.

4.D.c. TRAVAIL, EFFET DU TRAVAIL ET EXIGENCE DE RENTABILITE

En effet, souvenons-nous que dans la section X de l’Hydrodynamica, dont il a été question dans la première partie de cet article, Bernoulli, comparait le travail des hommes, et l’effet obtenu par l’application à la conduite d’une machine de la force vive issue d’un pied cube de charbon ou de poudre à canon⁶³¹. Cette relation très discrète semblait indiquer que Bernoulli admettait la conversion de la force vive en travail mécanique, pourvu qu’il existat

⁶²⁹ FONTENEAU, "Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738)"

⁶³⁰ On pourra consulter à ce propos le rapport de l’Académie des Sciences sur l’ouvrage de Coriolis, écrit par Prony, Girard et Navier, in CORIOLIS, *Du calcul de l’effet des machines*

⁶³¹ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 346-347 (Sect. X, § 43.) Cf. supra.*

un dispositif machinique comme intermédiaire. La conversion réciproque n'était pas évoquée. C'est avec le présent texte de 1753 que celle-ci va devenir tout à fait explicite.

Nous observons ici finalement un contact entre ces concepts de travail et de force vive, beaucoup plus franc que la simple mention à laquelle nous avons droit dans la section X de l'*Hydrodynamica*, mais un contact pour ainsi dire inverse : la conversion du travail en force vive, possible sans intermédiaire. La conversion observée précédemment, de force vive en travail, subordonnée à la médiation d'un dispositif machinique, ne semble ici plus figurer : lorsqu'il traitera des machines, Bernoulli ne parlera plus que de force vive. En revanche, cette conversion force vive-travail semble se déplacer, car mentionnée comme possible dans un seul cas, celui où l'intermédiaire n'est plus la machine mais un corps organique. Quoiqu'il en soit, les éléments naturels, laissés à eux-mêmes, ne sauraient produire du travail.

Ce contact, preuve de la distance parcourue par Bernoulli depuis son précédent texte, est affirmé sans ambages à plusieurs reprises : “tout travail doit avoir son effet” (I, §XXXI, p.34) ; “nul travail ne reste sans effets” (I, § XXXVI, p.39). Mais si le travail se mesure par le produit de la pression, de la vitesse du point d'application et du temps, “l'effet de travail peut & doit toujours être réduit à une certaine quantité de forces vives” (I, § VII, p.9). Il insiste en plusieurs occasions sur ce fait : “on mesure l'effet d'un certain travail par la quantité des forces vives qu'on a produites, soit réelles, soit potentielles” (I, § IV, p. 7) ; “il est question ici des forces vives, que l'homme produit pendant son travail” (I, §II, p.4). Certes les forces vives provenant d'un travail peuvent apparaître sous des formes diverses, néanmoins elles peuvent toutes être réduites à une certaine masse élevée à une certaine hauteur. Concrètement cela signifie par exemple que si le “travail étoit employé à donner continuellement à de nouveaux corps un certain degré de mouvement horizontal, il n'y auroit qu'à voir quelle est la hauteur verticale à laquelle ces corps pourroient s'élever avec leur vitesse imprimée, & on aura aussitôt leur force vive sous la forme désirée” (I. § VII, p. 9), c'est-à-dire une masse multipliée par une hauteur.

Cette connexion lui permet alors d'utiliser l'outil puissant que constitue le calcul de la force vive, pour caractériser quel doit être le travail minimal nécessaire pour faire cingler le navire. Autrement dit, il peut égaliser numériquement le travail et l'effet, posant ici de fait la nécessaire conversion de l'un en l'autre, et servant directement le but d'optimisation qu'il se donne. C'est très clair, par exemple, dans le § XII suivant (p. 12), où, se proposant de calculer l'effet du travail des hommes par la résistance que le navire vainc, et la hauteur qui générerait sa vitesse dans le cas d'une chute libre (qui est également la hauteur à laquelle le navire

parviendrait s'il était projeté en l'air avec sa vitesse), il en vient à dire que l'effet du cinglage est "aussi le travail essentiellement requis" (ibid.), c'est-à-dire le travail minimal nécessaire au cinglage du navire s'il n'y a aucune perte. C'est très clair également dans le § XXVIII (pp. 32-33), où l'auteur, appelant T le travail essentiellement requis et E l'effet, conclut que dans le mouvement d'une galère, "le travail accessoire est $= v/c T$, ou bien $= v/c E$, puisque T , exprime un travail, qui produit son effet E tout entier" (I, § XXVIII, p.33)⁶³². L'équivalence des mesures est ainsi posée. Mais il faut également noter une étape supplémentaire dans la formalisation du concept de travail ici, puisque, fait notable, une lettre particulière se voit assignée au concept et à sa mesure, ce que Bernoulli se gardait bien de faire en 1738 à propos de la *potentia absoluta*, se référant pour celle-ci directement à son produit⁶³³.

Travail et force vive se rejoignent ainsi, numériquement équivalent, mais conceptuellement différents de par la nature des objets auxquels on les applique. Si le travail regarde du côté des hommes, la force vive est du côté des choses. En effet, le mot même de *travail* est circonscrit dans ce texte à la sphère animale et humaine. Le travail apparaît alors chez Bernoulli comme un concept entièrement animal : "travail animal" est pour lui une sorte de tautologie. Aux éléments, on ne saurait appliquer ni le mot ni le concept. Ainsi donc, si Bernoulli a réussi à franchir la distance qui séparait travail et force vive, il ne le fait que partiellement, en ne donnant pas à l'équivalence entre cause et effet son caractère réciproque : si les hommes sont une source de forces vives, il ne s'ensuit pas que la force vive soit nécessairement produite par du travail.

Et si tout au long du mémoire le mot de travail est partout présent, revenant sans cesse dans chaque paragraphe, le contraste est saisissant avec les dernières pages, dans lesquelles le savant bâlois examine brièvement quel effet on pourrait obtenir par l'utilisation d'autres moyens, tels que "l'action du feu, d'un air condensé, d'un air échauffé, celle des vapeurs, de la poudre à canon, &c. Le vent lui-même est compris dans cette classe" (II, § XXXIV, p. 94) : le mot de travail, et le concept, disparaissent tout à fait. Alors, seule la force vive entre en jeu dans le calcul de l'effet : c'est de la force vive qu'on applique en entrée de la machine, et c'est toujours de la force vive que l'on obtient en sortie, pour exprimer l'effet. A aucun

⁶³² Le travail accessoire correspond au travail supplémentaire nécessaire pour mouvoir la galère du fait que les rames ont un point d'appui mobile. Le "travail accessoire" est donc la différence entre le "travail total" et le "travail essentiellement requis". v et c représentent respectivement la vitesse du point d'appui du mobile, et la vitesse de la galère par rapport au point d'appui.

⁶³³ En 1699 et 1704, Guillaume Amontons et Antoine Parent, inventeurs de deux antécédents du concept de travail mécanique, ne le faisaient pas non plus. Cf. FONTENEAU, "Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738)"

moment ceci implique que la force vive soit traitée comme le résultat d'un travail des éléments.

En effet, si les hommes sont bien une *source de force vive* (Ibid.), l'actualisation de celle-ci dans un effet ne peut se faire que par l'intermédiaire constitué par l'organisme, humain ou animal. De même, le feu, l'air condensé, la poudre, etc., sont également une *source de force vive*, mais dont l'actualisation ne nécessite pas un travail. Toutefois, cette force vive ne peut être rendu *utile*, productive, que par l'intermédiaire d'un dispositif machine. En effet, nous dit-il, la force vive MA (c'est-à-dire exprimée par la situation équivalente d'une masse M tombant d'une hauteur A) contenue dans les choses naturelles, renferme une somme de forces motrices, qui, si elles peuvent mouvoir un dispositif, transmettent alors dans ce mouvement la force vive de ces choses naturelles.

L'effet de ces forces motrices déplacées, que Bernoulli ne fonde pas vraiment dans un concept indépendant, sont immédiatement mesurées par une force vive. Si Bernoulli pouvait développer son propos, peut être parviendrait-il à les traiter comme du travail. Car si Bernoulli affirme bien que les forces motrices déplacées ont le même *effet* que le travail des hommes puisqu'on peut les substituer à celui-ci, il ne reconditionne pas son concept de travail à ce nouvel objet que constituent les éléments impétueux.

Dans cette optique, il est significatif d'observer que le terme de *potentia absoluta* n'est plus utilisé. En effet, on ne traite plus ici, à part dans les dernières lignes, que du travail des hommes, dont la *potentia absoluta* était une image directe, certes, mais en tant qu'elle était appliquée à une machine. A présent, alors même qu'il regarde l'action d'éléments sur une machine, il ne revient pas à son terme de *potentia absoluta*, qui auparavant désignait l'effet engendré par la pression subie à l'entrée de la machine, pression non directement proportionnelle, en ce qui concerne les éléments, à leur force totale. Il n'utilise plus que le mot et concept de force vive, donnant ainsi une indication supplémentaire que, depuis 1738, il a relativement progressé dans le rapprochement entre mécanique rationnelle et science des machines. La *potentia absoluta* ne lui est désormais plus nécessaire, comme si, à l'image d'un D'Alembert, il souhaitait parvenir à une décroissance du nombre de concepts⁶³⁴.

Si les éléments ne sauraient *travailler*, ce qu'on savait déjà, la pression qu'ils exercent ne saurait donc même plus développer de la *potentia absoluta*. Les éléments se voient éloignés de la sphère de la production. Un recul paradoxal car il s'accompagne en même temps d'un rapprochement entre travail (des animaux) et force vive. Si le travail des hommes

⁶³⁴ Cf. à ce sujet VIARD, "D'Alembert et le langage scientifique: l'exemple de la force, un malentendu qui perdure"

et des animaux, et donc la sphère productive, se voit ainsi en 1753 rapprochée de la mécanique rationnelle par la connexion univoque qui a lieu, les éléments, eux, se voient discrédités de toute velléité de production, et réduit à être décrit par de la force vive.

Cette discréditation est assez nettement visible lorsqu'il se prononce, dans la conclusion de son texte, sur les effets que peuvent donner les éléments, en rapport avec ceux que l'on peut espérer du travail des hommes. Dans l'utilisation de ces éléments, il existe, par nature, des pertes (en dehors des frottements) consistant dans "le mouvement qu'on donne au corps mobiles, qui servent en quelque sorte de point d'appui" (II, § XXXVII, p. 99), et dans la grande quantité des forces motrices qu'on laisse inutilement échappées faute de pouvoir les canaliser correctement. D'ailleurs, "cette dernière perte fait le plus grand défaut de toutes les machines à feu qu'on a encore imaginées" (Ibid.). Il en conclut alors que le plus grand effet qu'on pourrait tirer des forces motrices "ne sauroit jamais être assez grand pour mériter beaucoup d'attention" (Ibid.). Ainsi, il faut "perdre toute espérance de pouvoir substituer sur les grands vaisseaux avec quelque succès considérable les forces motrices renfermées dans les choses naturelles aux travaux des hommes"(Ibid. § XXXVI, p. 98) et donc "si nous avons donné la meilleure manière d'employer le travail des hommes pour suppléer à l'action du vent, nous avons en même temps montré de toutes les manières praticables, qui soient possibles, celle dont on tirera le plus de profit" (Ibid. § XXXVII, p. 99, dernière phrase du mémoire). De la sorte, il discrédite l'utilisation des éléments naturels à une quelconque prétention de rentabilité, et donc de production optimisable. Comme si, finalement, ce n'était pas dans la nature de ces éléments impétueux de pouvoir produire, contrairement à la nature de l'homme.

Bernoulli revient donc de ses espérances de 1738, quand il pensait encore pouvoir tirer un effet miraculeux du charbon ou de la poudre à canon, en les appliquant aux mouvements des machines à feu. C'est à une singulière renonciation à laquelle nous assistons ici, car elle ne concerne pas notre auteur seul. En effet, Bernoulli semble ici vouloir refermer toute un pan de la recherche mécanique, né cinquante quatre ans plus tôt avec Amontons et son mémoire sur un moulin à feu⁶³⁵, dans lequel l'académicien démontrait qu'il était possible de substituer le feu aux hommes ou aux chevaux, de manière rentable. Revenu de ce qu'il croit être une illusion, Bernoulli semble ici réduire singulièrement le rêve technologique. L'espérance d'un rapprochement des éléments avec la sphère productive est donc battue en brèche, le travail, mot et concept, s'éloignant ainsi des éléments naturels.

⁶³⁵ AMONTONS, "Moyen de substituer commodément l'action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les machines"

4.D.d. LA PHILOSOPHIE SOCIALE DE BERNOULLI

Ici se révèle en filigrane un aspect que nous jugeons excessivement important, ayant trait pourrait-on dire à sa philosophie sociale : c'est parce que les humains ont un rendement supérieur que l'on doit les préférer à tout autre moyen. La logique d'optimisation justifie donc l'utilisation des humains, mais vient se greffer sur un discours de naturalisation du travail dans son acception sociale, en affirmant implicitement qu'il est dans la nature de l'homme, et non pas des éléments, de travailler. Il faut bien saisir ici que ce discours de naturalisation du travail humain et la logique d'optimisation servent d'appui l'un à l'autre : les hommes doivent travailler car ce sont eux qui ont un meilleur rendement ; les hommes ont un meilleur rendement car c'est là leur nature de travailler. Mais si l'on ne croit pas en une quelconque naturalité du travail humain, *l'aliénation de l'homme au travail est en dernière analyse fondé par l'argument de rationalisation.*

Il faut également prendre conscience de l'esprit dans lequel Daniel Bernoulli travaille. Le sujet du mémoire n'est pas de substituer les machines à l'homme pour le libérer des travaux contraignants. L'ensemble composé du bateau, des rames et des humains est pris comme un système global à optimiser, froidement et mécaniquement. Il n'est ainsi jamais fait référence aux conditions de vies des rameurs, alors même que Bernoulli tire ses données d'études précédentes sur ces bateaux particuliers que sont les galères, où les conditions de vies épouvantables des chiourmes⁶³⁶ ne permettaient précisément pas une efficacité optimale. Que l'on se représente l'extrême exigüité d'un banc de galère, étudié par Zysberg, Burlet et Carrière⁶³⁷ : cinq hommes devaient peiner, manger, dormir, à l'intérieur d'un espace rectangulaire ne dépassant pas 2,30 m de long sur 1,25 de large. L'étroitesse du banc empêchait que les rameurs puissent plier les coudes, les obligeant à ramer bras raidis, dans l'incapacité donc d'utiliser les muscles des bras pour participer au mouvement ce qui, on le conçoit sans peine, ne constitue pas une manière optimale de ramer... Un poète provençal résumait ainsi les choses :

La galero es nouestr'houstau
Plogue ou neve, sian a l'erto
N'aven ni lansou ni cuberto [...]
Dourmen quatre ou cinq dins un ban,
Que n'a pas tres pan de carruro,

La galère est notre maison,
Sommes à l'air qu'il pleuve ou neige
Nous n'avons ni drap ni couverte [...]
Dormons à quatre ou cinq dans un banc
Qui n'a pas trois pans de large,

⁶³⁶ Chiourme : ensemble des rameurs d'une galère (composé en majorité de forçats, d'esclaves, aussi dénommés les Turcs, mais aussi de quelques rameurs volontaires salariés).

⁶³⁷ BURLET, CARRIÈRE & ZYSBERG, "Mais comment pouvait-on ramer sur les galères du Roi-Soleil?"

Semblo tout à fet la mesuro
D'une caisso per pourta un mouert [...]
Fau que dins aquelle brancado [...]
Mangen et caguen tout ensen [...] ⁶³⁸

Et semble tout fait à la mesure
D'une caisse pour mettre un mort [...]
Il faut que dans cette brancade [...]
Mangeons et chions tous ensemble [...]

Mais de cela, Daniel Bernoulli n'en a cure. Ca n'est pas son problème, pour ainsi dire. Ce qui l'intéresse est l'optimisation du système mécanique qu'il se plaît à conceptualiser. Si les hommes sont rentables pour voguer à la rame, que l'on utilise donc des hommes, et peu importe leurs conditions de vie. Cette distance vis-à-vis de l'humain, Bernoulli le montrera également dans les débats sur l'inoculation de la petite vérole. La question de base consistait à savoir si l'on devait pratiquer l'inoculation, aux enfants notamment, sachant que cette pratique n'était pas sans danger, provoquant la mort de nombreux inoculés. Dans un célèbre mémoire de 1760 traitant de la question, Bernoulli énonce tous calculs faits :

On doit donc considérer comme une vérité morale, que tant que l'Inoculation, administrée sur les enfans nouveaux nés, enlève moins que 100 sur 943, elle fait plus de bien que de mal : c'est sur ce théorème qu'on doit se régler, soit pour rejeter, soit pour introduire l'Inoculation, tant qu'on veut adopter le principe de *la plus grande utilité de toute l'humanité*.

[...] Je vais plus loin, & je ne crains pas de dire, que quand même on supposeroit à l'inoculation un si énorme péril que d'enlever 100 sur 943, il en résulteroit encore un bien pour la société [car] nous voyons que la perte ne tomberoit que sur les *enfans inutiles à la société*, & que tout le gain rejailliroit sur cet âge [de vingt-cinq ans], qui est le plus précieux ⁶³⁹. Si une génération de 1000 enfans avoit vingt mille ans devant elle à partager, vaudroit-il mieux *pour l'Etat* qu'ils arrivassent tous jusqu'à l'âge de vingt ans & qu'ils mourussent tous à cet âge, ou bien que 500 mourussent au berceau, & que 500 arrivassent à l'âge de quarante ans ? Si tel étoit le sort de l'humanité, elle seroit bien-tôt éteinte au premier cas & surabonderoit peut être dans le second. Enfin, de quelque manière que l'on envisage notre sujet, *il sera toujours géométriquement vrai* que *l'intérêt des Princes* est de favoriser & de protéger l'Inoculation avec toutes les attentions possibles [...] ⁶⁴⁰

Ce qui importe pour Bernoulli, comme pour de nombreux penseurs de son temps, ça n'est pas l'individu en soi. Mais c'est l'individu en tant qu'il soit utile. Et utile à quoi ? Utile à l'Etat. Bernoulli ne raisonne pas en termes de maladie répugnante, de souffrance, d'homme considéré pour ce qu'il est. Il pense : distribution de cas. Statistiques. Probabilités. Risque. Gain. Utilité. Il s'exprime dans ce langage neutre, technique, de l'administrateur, de l'ingénieur, pour qui importe la population et non l'individu. La population est de ce point de vue, non une collection d'individualités, mais un ensemble de processus à gérer.

⁶³⁸ Publié dans « *Lou jardin deys musos prouvençalos* », Aix-en-provence, 1966, pp. 47-57, et cité par *Ibid.*: 151

⁶³⁹ La majorité était alors de 25 ans.

⁶⁴⁰ BERNOULLI, DANIEL, "Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite Vérole, & des avantages de l'Inoculation pour la prévenir", HMARS, 1760, M, 1-45 32-33 Nous soulignons. Sur la question de l'inoculation chez Daniel Bernoulli, cf. RIEUCAU, NICOLAS & PRADIER, PIERRE CHARLES, "Exposé succinct et inédit de la contestation qui s'est élevée entre D'Alembert et Bernoulli au sujet de l'inoculation de la petite vérole ", *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, xxviii, n° 2, 2008, pp 239-253

De la même manière, la population réduite que constitue la chiourme d'un vaisseau est perçue comme le processus mécanique qu'il faut gérer à fin de rendement optimal. Ces processus sont envisagés dans l'ordre de la naturalité, c'est-à-dire qu'ils sont pensés comme réductible à des lois naturelles, que celles-ci existent déjà ou non. Une naturalité qu'il s'agit de connaître afin, en la respectant au mieux, de pouvoir en tirer une utilité, un profit, maximum.

De ce point de vue, il ne faudrait pas croire que Bernoulli est un dangereux agitateur lorsqu'il prône dans ce mémoire sur les rames les huit heures de travail quotidien. Il suffit de le lire : “[...] le partage le plus conforme à la constitution de l'homme est, à mon avis, celui de huit heures de travail par jour” (I, §VIII, p.10). Il s'agit de déterminer quel temps la mécanique humaine peut supporter chaque jour, quel est le temps de travail naturellement compatible avec sa constitution, et partir de cela comme d'une base pour penser la production. Il n'agit pas autrement quand il raisonne sur la fatigue, ou lorsqu'il imagine, comme nous le verrons plus loin, qu'il existe une conservation des forces naturelles chez les hommes et les animaux, semblable à la conservation des forces vives⁶⁴¹ : il s'agit toujours de réduire l'homme à des lois naturelles qui vont permettre le calcul, à une naturalité qu'il faut respecter si l'on veut obtenir un rendement optimal de la mécanique humaine.

Cet exemple nous montre qu'il faut se garder du préjugé selon lequel tous les esprits du temps des Lumières auraient eu pour but le bien être humain, et que la considération des machines étaient toujours mue par le désir charitable de soulager la pénibilité des travaux des hommes. Bernoulli fait parti de la classe dominante, et son souci est moins le bien être des acteurs, que la froide optimisation des moyens mécaniques.

4.D.e. FATIGUE, TRAVAIL, FORCE VIVE : TROIS DOMAINES DIFFERENTS

Revenons maintenant sur la distinction qu'il exerce entre fatigue, travail et force vive, en reprenant la justification, vue plus haut, du fait qu'avec une fatigue égale, les hommes sont tous capables d'un effet égal. Il annonce immédiatement une théorie pouvant expliquer cet état de fait, basé sur la physiologie : d'après lui, la fatigue est causée par la perte d'esprits animaux, qui produisent le mouvement des muscles. Ainsi la sensation de fatigue ne serait qu'un déficit d'esprits animaux. Or ces esprits animaux agissent sur les muscles comme de petits ressorts bandés, qui en se débandant transmettent leur force vive, et c'est la nature d'un

⁶⁴¹ “la nature [a] prescrit aux animaux une certaine conservation de forces naturelles pareille à celle qu'on connoit aux forces vives produites par la pesanteur naturelle” (I, § III, p. 6)

ressort que de produire constamment la même force vive. Et l'effet d'un travail se mesurant par la quantité de forces vives qu'on a produites, il s'ensuit qu'une fatigue égale, produit un effet égal dans toutes les espèces de travail.

Ne lisons pas distraitemment ces quelques lignes, car l'épistémologie de Bernoulli se révèle ici. En effet, l'on voit que la force vive existe en quelque sorte dès l'origine, dans les éléments provoquant le mouvement. C'est bien de la force vive qui est générée par les esprits animaux considéré comme des ressorts qui se débandent. Mais cette force vive initiale n'est pas le travail, des hommes ou des animaux. Car le travail est justement ce qui permet à cette force vive issue des esprits-ressorts de pouvoir provoquer un effet, alors mesurable en force vive. Ce n'est que par l'organisme, humain ou animal, que cette potentialité peut s'exprimer en effet quantifiable. Le travail est un *état transitionnel* nécessaire entre deux formes de force vive.

Il s'agit de bien saisir cela. Même si d'un premier abord fatigue, travail et effet conçu comme force vive, peuvent apparaître comme une seule et même chose, de par leur mutuelle proportionnalité (la fatigue étant proportionnelle au travail, et tout travail produisant de la force vive), il faut bien comprendre qu'il n'y a là qu'une identité de mesure, et que la nature des objets auxquels ils s'appliquent diffèrent: la fatigue sert à caractériser l'état physiologique d'un animal ; le travail permet principalement de quantifier l'action de l'homme dans un contexte productif ; et la force vive ne caractérise que les entités naturelles et les objets. Physiologie, production et nature fondent respectivement l'essence des concepts de fatigue, travail, et force vive. Et si le travail et la fatigue sont bel et bien tous deux issus d'un organisme, celle-ci sculpte en creux l'image de celui-là. Car certes ils sont proportionnels, mais la fatigue est une dépense, puisque due au déficit d'esprit animaux, et le travail une création.

Les domaines, cependant, sont loin d'être imperméables, et nous ne les avons ainsi séparés que pour la clarté du discours. Il faut noter, en effet, que si le concept de travail se réfère de prime abord au domaine de la production, il est également physiologique, en ce qu'il s'applique aux organismes dans la production. Cependant, il peut être également uniquement physiologique, puisque Bernoulli parle du travail du cœur ou d'autres organes⁶⁴². En outre, la

⁶⁴² Cf. le § IV de la première partie, p. 7 : "Quant aux fonctions vitales, il seroit bien difficile de l'évaluer avec autant de justesse ; il n'y a que le travail du cœur, qu'on peut déterminer assez exactement [...]"; "[...] on pourra estimer le travail journalier du cœur égal à celui d'élever 144000 livres à la hauteur d'un pied"; puis p. 8 : "J'estime le travail des muscles qui servent à la respiration plus grand"; "[...] il est à présumer que la nature a destiné les esprits animaux dans une proportion à-peu-près égale aux mouvement vitaux nécessaires & mouvement volontaires".

force vive, bien que sa référence principale réside dans le schème conservatif du mouvement des objets naturels, est un concept à la fois naturel et productif lorsqu'il s'applique à déterminer l'effet du travail. Nous pourrions donc résumer les choses par le schéma ci-dessous.

Domaines d'application des concepts	PHYSIOLOGIE			NATURE	
Concepts	Fatigue	T r a v a i l		F o r c e v i v e	
Entités auxquelles s'appliquent les concepts	Organisme	Coeur, organes	Hommes, animaux	Entités mues par le travail Machines	Elements naturels
Caractéristiques	Déficit d'esprits animaux		Rentable	Effet du travail des organismes	Force conservative des éléments naturels
Mesure	Déficit de force vive, inquantifiable		P.v.t	P.v.t	mv ² , Ph

Bernoulli propose en outre une ébauche de modélisation de la fatigue, qui lui permettrait de réduire ces trois concepts à deux, dans le sens où il conçoit que la fatigue n'est que le nom d'une quantité perdue de force vive, inquantifiable. Les esprits animaux, semblables à de petits ressorts bandés, recèlent une force vive potentielle, actualisée au cours de l'activité laborieuse, dont le défaut provoquera la fatigue, et qui sera en même temps la cause de l'effectuation de la tâche. Tout se passe alors *comme si* la force vive désormais réelle des esprits ressorts, non quantifiable en tant que telle, puisqu'on ne peut observer leur fonctionnement microscopique, venait à se convertir en travail grâce à l'organisme humain, dont l'effet est à son tour mesurable en force vive, le travail se convertissant en force vive. Nous observons alors l'idée d'une conversion de la force vive en travail, plus explicite que la mention de la section X de l'*Hydrodynamica* (cf. *supra*). Deux fortes nuances doivent immédiatement être mises en avant : d'une part, c'est que cette conversion ne peut se faire qu'au sein d'un organisme vivant ; d'autre part, c'est que cette force vive là est inquantifiable. On n'a accès qu'au travail, ou à la force vive issue de ce travail. A ce qu'on a après, pas avant. Par rapport à la section X, on constate un point commun dans l'existence nécessaire d'un intermédiaire à la conversion, mais une différence en ce que cette médiation n'est plus portée par une machine mais par un organisme. En outre, comme nous l'avons vu précédemment, la machine dans ce texte de 1753, ne convertit pas de la force vive en travail, mais ne fait que transmettre de la force vive de l'entrée à la sortie.

Bernoulli tente donc ici une *modélisation* des esprits animaux, bien qu'elle ne soit

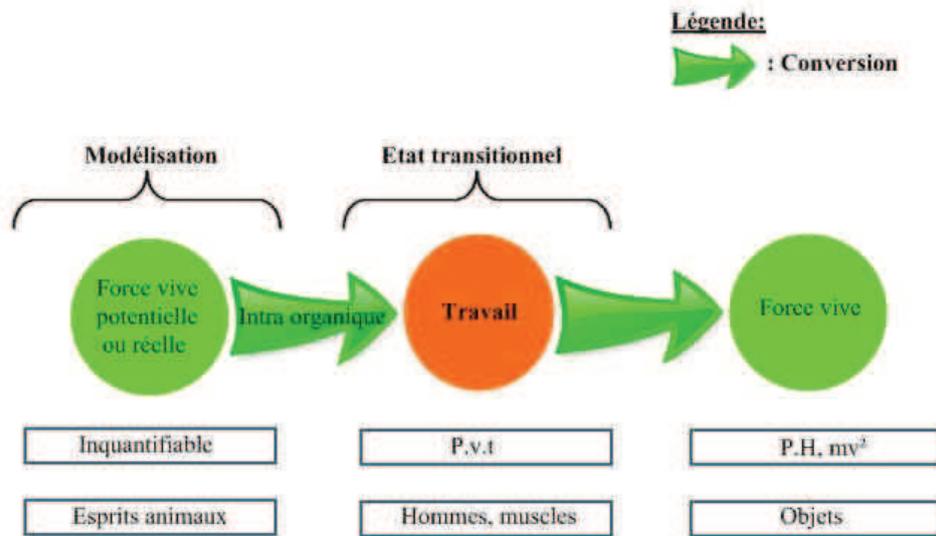


Figure 50 : La conversion du travail en force vive a lieu dans tous les cas. Il n'en va pas ainsi pour la conversion réciproque, qui n'a lieu que de manière intra organique, et qui n'est qu'une modélisation, la force vive originelle restant inquantifiable.



Figure 51 : Si la force vive est apportée par un agent non organique, elle est directement, bien qu'imparfaitement, utilisée par la machine et ne subit aucune espèce de conversion.

qu'ébauchée, en voulant réduire la physiologie à la mécanique rationnelle, ce qui lui permet, à défaut de pouvoir calculer, d'introduire un modèle explicatif (cf. Figure 50). Mais ce schéma ne saurait s'appliquer lorsque la source de force vive est un agent non organique. Dans ce cas, si la médiation de la machine est nécessaire pour rendre la force vive utile, créant concomitamment et par nature une perte considérable signant l'impossibilité d'une utilisation rentable des éléments, il ne s'ensuit aucune conversion. La force vive reste force vive - Bernoulli ne parlant même plus de potentia absoluta- la seule distinction qui peut être faite résidant entre ses parties utile et inutile, la dernière, la plus importante, due à la production d'effets inutiles.

4.D.f. LA FORCE VIVE N'EST PAS L'ENERGIE CINETIQUE

Mais au-delà de ça, sa manière de concevoir la force vive peut poser question, dans le sens où elle n'est pas forcément "réelle", ou, plus exactement, réalisée. A plusieurs reprises en effet, il considère que la force vive peut être "potentielle", et que "de même que les hommes sont une source de force vive, toutes les choses dont on pourroit se servir pour suppléer à l'action du vent renferment sous des apparences différentes une certaine quantité de forces vives." (II, § XXXXIV, p.94), et si on évite les effets inutiles "toute la quantité de forces vives renfermées dans les choses naturelles [...] sera transmise dans les eaux poussées, et déplacées par la proue du bateau" (Ibid.). Ce n'est pas simplement un raccourci de langage : Bernoulli semble véritablement penser que la force vive peut être contenue dans des entités n'étant pas en mouvement, comme le montre son insistance au sujet des "forces motrices renfermées dans les choses naturelles" (Ibid. p. 98), et l'utilisation du terme de "force vive potentielle" (Ibid. p. 97). Pour que cette force vive soit alors mesurable et que les choses naturelles réalisent leur force vive potentielle, il s'agit de l'appliquer physiquement au déplacement d'objets. C'est dans ce cadre que Bernoulli utilise la notion de force motrice : ainsi l'effet utile, calculé par lui, "résulte de la somme des forces motrices contenues dans la force vive MA" (II, § XXXV. P.95).

La force vive potentielle décrite ici désigne donc la force vive que les choses naturelles contiennent en elles, dépositaires d'une potentialité non encore effective, mais libérables à tout instant. Ceci fait sens avec d'autres écrits de lui, comme par exemple la section X de son *Hydrodynamica* que nous avons étudiée précédemment. En effet, nous avons vu dans la première partie de cet article que la force vive réelle des poids dont on chargeait le piston pouvait se transmettre sous forme de force vive potentielle à l'air comprimé, ainsi doté d'une capacité de stockage. En retour cette force vive potentielle pouvait inversement s'exprimer en force vive réelle. En outre, le charbon et la poudre à canon étaient dits contenir de la force vive, latente. C'est une sorte d'énergie interne qui semblait ainsi s'exprimer.

Cette potentialité est récurrente dans l'œuvre de Bernoulli. Ainsi dans un texte de 1742⁶⁴³, il utilise également cette notion de force vive potentielle dans le cas d'une corde élastique tendue : la force vive deviendrait actuelle, si la corde était libérée de sa tension. Si ceci est sans doute insuffisant pour considérer qu'il s'agit de ce que l'on appellera plus tard une énergie potentielle, il subsiste cependant l'idée commune de la potentialité d'un effet. Il

⁶⁴³ *Lettre de Daniel Bernoulli à Euler, citée in ROCHE, JOHN, "What is potential energy? " European Journal of physics, n° 24, 2003, pp 185-196: 189*

n'est donc pas étonnant de voir Bernoulli, dans son mémoire de 1753, utiliser cette notion de force vive potentielle, dès le § 7 de la première partie, lorsqu'il énonce que la mesure de l'effet d'un travail se faisait par la quantité de forces vives qu'on a produites, "soit réelles, soit potentielles" : concrètement il peut s'agir ici de ressorts qu'on a bandés. De la sorte on aura bien produit une force vive potentielle dans le double sens où elle sera contenue dans le ressort, et libérable de manière réelle.

Mais cette insistance ne peut bien se comprendre que si l'on rappelle le poids de la conception élastique de la matière sur Daniel Bernoulli, en droite ligne de son père Jean Bernoulli et de Leibniz avant lui. Pour eux, en effet, toute la matière est élastique. L'élasticité, la force élastique, est le prototype de l'énergie interne au sein de la matière. Elle est le fondement de la conservation de la force, chez ces auteurs. Leibniz l'exprime ainsi dans son *Essay de dynamique* :

Or, cette Elasticité des corps est nécessaire à la Nature, pour obtenir l'exécution des grandes et belles loix que son Auteur infiniment sage s'est proposé, parmi lesquelles ne sont pas les moindres, ces deux Loix de la Nature que j'ay fait connoître le premier, dont la première est la loy de conservation de la force absolue ou de l'action motrice dans l'univers [...] et la seconde est la loy de la continuité [...] Ce qui fait aussi que la nature ne souffre point de corps durs non-élastiques.⁶⁴⁴

Une élasticité universelle d'ailleurs refusé par Newton puis par D'Alembert qui, lui, croit aux corps durs et ne conçoit les corps élastiques que comme des corps durs munis de ressorts.⁶⁴⁵ Jean Bernoulli, propagandiste de Leibniz, conçoit que les corps durs sont des corps élastiques pourvus d'un ressort infini, à la manière d'un "*balon rempli d'air infiniment condensé*"⁶⁴⁶ pousse encore plus loin cette conceptualisation, puisqu'il souhaite réduire tous les mouvements à ceux provoqués par la force élastique, jusqu'à faire un parallèle entre le rôle de la force élastique et celui de la pesanteur :

On peut donc considérer la chute & l'accélération d'un poids, comme étant causée par l'effort d'une matière élastique, qui étendue verticalement à l'infini, presseroit les corps de haut en bas, & les feroit descendre selon la loy connue de l'accélération.⁶⁴⁷

⁶⁴⁴ LEIBNIZ, *Mathematische Schriften*: 228-29

⁶⁴⁵ *Sur la conception de D'Alembert des forces vives et les liens entre celle-ci et sa conception de l'élasticité des corps durs*, cf. HANKINS, *Jean D'Alembert: Science and the enlightenment*: 204-214 Pour D'Alembert, si la conservation de la force a toujours lieu pour les corps élastiques, elle est en revanche limitée, lorsqu'il s'agit des corps durs, au cas où ceux-ci agissent les uns sur les autres de façon continue, sans qu'il y ait choc (D'ALEMBERT, JEAN LE ROND & DIDEROT, DENIS, *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, vol. VII, Paris, Briasson, 1757: 115 (art. FORCE)

⁶⁴⁶ *Lettre de Jean Bernoulli à Dortous de Mairan du 15/06/1724*, citée in ISMAEL YOUSSEF, DJAMA, "Les phénomènes de choc et les principes de conservation : débats historiques et processus d'apprentissage"(Université Lyon I, 1999): 77-78

⁶⁴⁷ BERNOULLI, JEAN, *Discours sur les loix de la communication du mouvement*, Paris, Jombert, 1727: 48 (chap. VII, corollaire V)

Tout comme la pesanteur produit de la force vive, la force élastique en produit également. C'est bien cette même conception qui se retrouve à l'identique chez Daniel Bernoulli, lorsqu'il énonce dans la section X de l'Hydrodynamica :

Il doit être noté ici par avance que tout comme la descente d'un corps donné d'une hauteur donnée, de quelque manière qu'elle survienne, produit constamment la même force vive dans le corps, de même un corps élastique ou un fluide élastique, après avoir réduit son degré de tension ou de compression à un degré donné de quelque manière que ce soit, conserve en lui-même la même force vive et peut de nouveau la communiquer à d'autres corps par un échange opposé.⁶⁴⁸

C'est donc bien cette conception élastique de la matière qui semble en jeu dans la notion de force vive potentielle. Et le fait remarquable est que le travail des hommes lui-même semble s'inscrire dans cette conceptualisation : en effet, le travail des hommes produit de la force vive. Mais quelle est l'origine de celle-ci ? Ni plus ni moins que la fatigue des hommes, c'est-à-dire le relâchement des petits ressorts bandés constituant les esprits animaux présents dans les muscles. C'est une vision admirablement cohérente qui s'exprime ici, dans les efforts répétés de notre auteur à la suite de ses père et maître, pour réduire tout mouvement, toute production de force vive, jusqu'à travail des hommes, à l'action d'une matière élastique.

Ainsi, on peut mesurer toute la distance existant entre la force vive et sa traduction dix-neuviémiste en énergie cinétique qui, pour pratique qu'elle ait été, ne recouvrait certainement pas le même champ conceptuel. D'une part, évidemment, parce que l'énergie était un objet cognitif nouveau, associé à une vision inédite du monde non réductible à l'ancienne car différente, ce qui est le propre des révolutions scientifiques ; mais surtout parce que l'énergie cinétique sera défini comme l'énergie qu'un objet possède de par son *mouvement* : nulle notion de potentialité ici. Le concept d'énergie cinétique ne saurait donc recouvrir toutes les réalités cognitives que la force vive représentait chez les divers auteurs l'utilisant, comme nous en avons ici un exemple frappant.

4.E. CONCLUSION : GERER L'HUMAIN

Le travail chez Daniel Bernoulli est loin d'être un concept simple et analysable indépendamment, car il offre dans toutes ses occurrences une diversité de dimensions interdépendantes : mécanique, physiologique, sociale, économique. D'où ici plus encore chez

⁶⁴⁸ BERNOULLI, *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II: 343 (sect. X, § 39)*

d'autres auteurs l'inefficience d'une définition uniquement axée sur la pauvreté d'une expression formelle.

Le travail ne peut se comprendre que dans l'enchevêtrement de ces différentes dimensions, qui d'ailleurs se modifie un tant soit peu au cours du temps, comme on l'a vu. Toutefois, malgré la connexion explicite mais non réciproque entre travail et force vive que l'auteur opère en 1753, il subsiste chez lui une certaine incapacité à élargir les définitions premières de ses concepts. Chez lui, la nature ne travaille pas. Le travail, *in fine*, reste un concept humain (ou animal au sens large) tandis que la force vive s'applique aux choses naturelles.

Mais dans le même temps, il ne peut se comprendre qu'en le mettant en rapport avec la force vive ainsi qu'avec la fatigue, surtout en 1753, car le travail humain est ce qui rend possible la réalisation et la mesure des forces vives issues des esprits animaux dont la dépense provoque la fatigue. Le travail n'existe que grâce à cette dimension physiologique fatigante. Mais c'est la force vive qui permet d'en mesurer l'effet sur les choses naturelles en 53. C'est la force vive qui permet de mesurer dans le monde épuré de la mécanique rationnelle des éléments naturels l'incidence que la force brute des hommes a sur elle. Le travail est alors le concept nodal permettant cette mise en correspondance de l'homme et de l'univers dans le cadre d'un dispositif mécanique.

C'est pourquoi le travail, ou la *potentia absoluta*, interviennent uniquement dans des problématiques pratiques. L'histoire du travail mécanique chez Bernoulli peut se lire comme la suite des différentes tentatives engagées par notre auteur pendant plus de quinze années pour rendre compte du fonctionnement des machines, avec l'homme comme point de mire. Ainsi dans la section IX de l'*Hydrodynamica*, il s'intéresse aux machines hydrauliques dans lesquelles le fluide est mu par une force extérieure à lui. Or quelles sont les forces extérieures susceptibles de le mouvoir les plus communément utilisées et les plus efficacement utilisables ? La force de l'homme, en premier lieu. Ne viennent qu'ensuite la force du vent ou de l'eau. La question principale dans l'utilisation de cette force est celle de pouvoir obtenir un travail maximal avec une fatigue minimale. C'est à cette fin que Bernoulli crée un outil de mesure adapté, la *potentia absoluta*, qu'il va pouvoir ensuite appliquer à l'évaluation du rendement des machines, qu'il s'agisse des machines qui mettent l'eau en mouvement ou de celles qui se contentent de l'élever sans lui communiquer de mouvement. Cet outil permet d'évaluer le rendement sans se préoccuper du type de dispositif employé. Dans la section suivante, la dixième, il s'intéresse aux propriétés et au mouvement des fluides élastiques, et spécialement de l'air. Le cadre théorique construit dans la première partie de ce chapitre,

établissant le calcul de la force vive contenue dans un fluide élastique, lui permet ensuite de traiter des machines à feu, dont la force motrice provient de l'air expansé par l'inflammation de la poudre à canon ou du charbon. Ceci l'amène alors à comparer l'effet du travail des hommes et l'effet de ces machines, dans une logique de substitution. Enfin en 1753, le contexte est clairement celui de l'emploi du travail des hommes à la navigation d'un navire par le moyen des rames. En différenciant travail et effet du travail, il se place dans une logique d'optimisation dont on a vu les similitudes et les dissemblances avec ses travaux de 1738.

Par suite, le concept de travail bernoullien ne pourrait se comprendre hors des cadres sociaux et économiques qu'il porte en lui au sein d'une épistémologie propre à l'auteur se révélant ici animé de la marque de son temps. C'est bien le double argument de sa naturalité à l'homme et de sa nécessaire rationalisation qui fonde sa mise en avant et son utilisation. La machine qu'est le bateau n'échappe plus à cette doctrine de l'optimisation, non plus que les hommes, au travers elle. Ce n'est que parce que le travail est économiquement source de richesses et socialement valorisé, qu'il en vient à transparaître dans la mécanique des ingénieurs puis à transpirer de celle-ci à la mécanique rationnelle par toute une série de tentatives plus ou moins abouties dont celle de Bernoulli ne constitue pas ni la première ni la dernière, car l'élaboration du concept tel qu'il se constitue depuis Guillaume Amontons jusqu'à Gustave-Gaspard Coriolis, se caractérise comme une longue tentative d'arrondissement de la mécanique des machines à la mécanique rationnelle. De la sorte, Bernoulli comme tous les autres auteurs, reprend et participe, certes, à la diffusion d'un concept et d'une valeur sociale et économique⁶⁴⁹.

Mais ce qu'il faut souligner en dernier lieu, c'est que la particularité de Daniel Bernoulli dans cette chaîne de tentatives, est d'avoir été l'un des premiers à concevoir le travail mécanique comme le moyen permettant la gestion organique des hommes, en faisant passer la fatigue du domaine qualitatif au calcul quantitatif. Mettre *le fait biologique* de la fatigue au centre de la conception du travail, par une interprétation mécanique. Le travail humain, en dehors de ses aspects moraux de positivité ou de négativité, est analysé comme un processus, comme un phénomène naturel, permettant la transformation de la potentialité humaine en effets mesurables sur le monde.

Le travail est ce qui transforme et ce qui se transforme. Ce qui transforme : l'activité humaine de changement de forme d'un donné naturel à un ouvrage, qui réduit dans une

⁶⁴⁹ Sur les aspects socio-économiques du concept de travail, on peut aussi consulter le dossier : *Penser le travail à l'époque moderne*, Cahiers d'Histoire, n° 110, 2010.

matière la force humaine ; ce qui se transforme : cette force, cette potentialité réifiée dont le travail mécanique est l'agent comptable. C'est un flux, une transformation de potentialité, que l'on peut optimiser.

Il devient maintenant indispensable, si l'on veut atteindre plus de profondeur dans la compréhension de ce concept, de rattacher plus clairement ces notions à l'évolution sociale (au sens large) de la société contemporaine, qui, on le perçoit, ne cessent de frapper à la porte. C'est ce à quoi est consacré le chapitre suivant.

Chapitre 5 SORTIR DU TEXTE : ENCASTREMENT DES MESURES DU TRAVAIL DANS L'ENVIRONNEMENT CONTEMPORAIN

5.A. INTRODUCTION : LE SECOND DECENTREMENT

Confronté au problème de l'histoire du concept de travail mécanique, nous avons dû jusqu'ici suivre la voie d'un premier décentrement. En effet, nous n'avons pas donné priorité à l'histoire de ce qu'on appelle depuis Coriolis le principe des "travaux virtuels". Nous n'avons pas fait entrer ce principe, ou le principe des vitesses virtuelles, dans cette histoire. Nous en avons déjà donné les raisons : s'il est bien évident que le concept de travail mécanique dixneuviémiste ne pourrait pas se comprendre sans la présence de ces développements théoriques, on ne saurait cependant sans contresens affirmer que le concept en est directement issu. En effet, ce qui fait toute la spécificité du concept de travail mécanique à cette époque, n'est pas tant lié à de nouveaux développements théoriques internes, qu'à une réinterprétation économique de la théorie. Coriolis, Navier, Poncelet, Petit, et d'autres, ne dérivent pas une nouvelle entité mathématique qu'ils baptisent du nom de travail mécanique : ils permettent à deux approches de se rejoindre, la mécanique analytique et la science des machines. C'est par leur effort que le calcul des machines va désormais pouvoir être exprimé pleinement par le langage de la mécanique analytique, et que cette dernière va se comprendre comme la description d'une vaste machine productive : la nature. Cette fusion des domaines n'amènent pas tant à des développements mathématiques inédits qu'à une réinterprétation conceptuelle de la mécanique analytique. Les occurrences de $F \cdot dx$ présentes dans cette dernière vont désormais être appelées travail mécanique, non par lubie terminologique ou plaisante métaphore, mais parce que le calcul analytique est mis au service de problématiques d'ingénieurs : mieux, c'est toute la mécanique qui se teinte alors d'une conception économique de la nature. C'est ainsi à partir de cette époque que l'on peut parler pleinement de travail d'une force, au sens où la nature sera vue désormais comme une entité laborieuse, explicitable dans une rationalité jusqu'ici (relativement) séparée de la pensée analytique : une rationalité d'ingénieur, derrière laquelle pointe la rationalité de l'entrepreneur.

Pour cette raison fondamentale, nous avons été conduit à nous décentrer vis-à-vis d'une histoire de la physique des phénomènes naturels. Sans cela bien des questions restent sans réponses : on ne saisit pas pourquoi, notamment, ce concept ne finit par prendre son autonomie qu'au 19^e siècle. Si on admet que Descartes ou Jean Bernoulli ou D'Alembert, utilisent un concept de travail mécanique, il faut expliquer pourquoi il erre pendant près de 2 siècles avant de parvenir à être identifié par les ingénieurs-savants. Or, nous semble-t-il, on ne comprend jamais l'histoire mieux que les acteurs contemporains.

C'est pour répondre à ce type de question que nous nous sommes donc rapprochés d'une histoire de la physique de l'artificiel, c'est-à-dire une physique dont les motivations ne résident pas tant dans la simple description du naturel que dans des critères tels que l'optimisation (quel que soit l'entité à laquelle s'applique ce critère), ou le fonctionnement de machines. Ceci nous a permis de souligner au passage le caractère factice de séparations trop nettes entre histoire de la mécanique, histoire des techniques, histoire des ingénieurs. Dès lors, il apparaît que ce concept émerge explicitement aux yeux des contemporains, il est identifié comme une quantification de l'effet des hommes, des bêtes, des machines, et doit servir à l'optimisation de celle-ci, en vue de la maximisation du profit. Il se place dans une sphère pratique et/ou technologique, de laquelle on attend des réponses concrètes, et tente continuellement des rapprochements avec la mécanique rationnelle. Le sens, qui échappait à la première approche, est alors retrouvé.

Voilà ce qui nous a occupés lors des 4 précédents chapitres. Cependant ce premier décentrement ne saurait suffire. Nous sommes en effet majoritairement restés à l'intérieur des textes où ces motivations et démarches apparaissaient. Ce qu'il nous faut faire à présent, pour parvenir à un niveau supplémentaire de profondeur dans l'explication de l'histoire du concept, c'est-à-dire atteindre à plus de cohérence, c'est rattacher ces motivations et démarches à l'environnement dans lequel les acteurs évoluent. En d'autres termes, il nous faut retrouver le cadre dans lequel ces occurrences apparaissent. Evidemment, il n'aura pas échappé au lecteur que nous avons déjà ébauché ce second décentrement au détour de nombreuses pages, telle que la conclusion du chapitre 1, où la triple figure de l'académicien-expert-ingénieur est évoquée. Nous souhaitons ici reprendre ces éléments pour les replacer dans un tableau d'ensemble plus précis. On peut interpréter ce chapitre, finalement, comme une prise de distance vis-à-vis de l'idée de contours ou de limites des disciplines. De ce fait, le lecteur discernera dans ce chapitre un changement de ton par rapport aux précédents, apporté par la nature même de l'exercice, puisque nous nous attacherons beaucoup moins à atteindre le détail de textes particuliers qu'à les replacer dans leur réalité d'ensemble.

Avant d'exposer ce tableau, il nous faut rappeler la première hypothèse formée à propos de ce second décentrement, au tout début de notre recherche. Il visait à faire résider la motivation sous-jacente de l'émergence d'antécédents du concept de travail mécanique à l'orée du 18^e siècle, dans la forte progression de la valeur-travail tout au long du 17^e siècle, et le renversement opéré vis à vis de celle-ci en cette période. En effet, cette valeur devient alors positive : d'abord envisagé comme châtiment consécutif de la condition peccamineuse de l'homme, le travail, par le biais des moralistes et du mercantilisme du 17^e siècle devient progressivement ce qui permet à l'Etat de s'augmenter, en termes de richesses. Il n'est plus réservé aux pauvres, tout le monde se doit de travailler, même les moines. D'où la fixation populationniste des mercantilistes. Dès lors, le travail mécanique pourrait être interprété comme la résurgence de cette notion socio-économique dans le discours mécanique.

Cette hypothèse, fondée sur une coïncidence, s'est révélée tout à fait insatisfaisante. Si la coïncidence est réelle, la causalité ne l'est pas, ou alors sous des termes bien plus complexes qu'un naïf transfert de concept. Voir en ces choses, pour le dire grossièrement, un transfert de concept entre une pensée économique alors en construction et n'ayant pas d'autonomie propre, vis-à-vis des discours politiques par exemple, et une pensée mécanique elle-même en construction où le travail mécanique est sujet à définitions flottantes, toujours abordé de biais, amène en somme à vouloir faire dialoguer des fantômes. Entre les deux, entre ces domaines des Idées, réside un espace : celui du réel. Pour déterminer l'origine des mesures du travail au-delà des textes où elles apparaissent, il faut, plutôt que de postuler une correspondance directe entre théories évanescences, examiner le réel dans lequel elles apparaissent. Ce n'est que par cette enquête préliminaire du milieu, c'est-à-dire des acteurs - les académiciens- et de la scène -l'Académie Royale des Sciences dans ses fonctions- que commencera à se dessiner les rapports et les origines.

C'est pourquoi nous allons ici nous attacher dans un premier point à reconstruire cette épaisseur. Pour ce faire, nous allons explorer le rôle et la figure de l'académicien à partir du renouvellement de 1699. Nous verrons comment les pratiques d'ingénieur orientent les conceptualisations et les méthodes. Puis comment son rôle d'expert chargé par le pouvoir d'enquêter sur les inventions, l'amène à forger des outils adaptés aux exigences gouvernementales. Enfin, nous verrons comment se place l'académicien vis-à-vis de l'Etat, et comment les pratiques se modifient dans l'exigence utilitaire du pouvoir.

Ce n'est qu'après avoir reconstruit ce milieu que nous pourrons dans une seconde partie explorer les rapports qui existent entre les mesures du travail et, croyons-nous, l'art de gouverner. Nous y explorerons notamment le rôle de l'émergence de la notion de système.

Nous concluons donc en mettant l'accent d'une part sur le lien entre les mesures du travail et l'exigence de la conservation et de l'augmentation de l'Etat, et d'autre part sur la cohérence apportée par le fait de voir à l'œuvre, dans la mécanique et dans l'art de gouverner, une rationalité d'entrepreneur cherchant à obtenir le plus avec le moins.

5.B. RECONSTRUIRE LE REEL : ACADEMICIENS ET ACADEMIE

5.B.a. QU'EST-CE QU'UN INGENIEUR AU 17^E SIECLE ?

5.B.a.i AMONTONS ET PARENT ONT EXERCE COMME INGENIEURS

Qui sont ces gens qui inventent des occurrences du travail mécanique ? Qui sont Amontons et Parent en premier lieu ? Pour répondre à la question, nous avons effectué une recherche biographique sur Amontons, relatée au chapitre 2, et figurant exhaustivement dans les annexes. Amontons est un pragmatique, un homme occupé, avant et pendant sa période académique, à des travaux d'ingénierie civile, et parfois militaire (cf. son ponton pour les armées). Nous avons vu en outre d'où Amontons tirait ses données entrant dans le calcul de l'effet des hommes : de sa machine à polir les glaces, fonctionnant dans un immeuble de la rue Phélyppeaux et arrêtée en 1702 pour cause semble-t-il de déficit. Amontons, associé avec d'autres, n'était donc pas seulement en cette occasion le concepteur de la machine, il était également du nombre des entrepreneurs. On sait en outre, toute l'importance que Parent accorde au thème de l'optimisation : la plus grande perfection, le moindre coût (dépense). Il suffit d'ouvrir l'une de ses œuvres pour la retrouver affirmée, revendiquée par l'auteur, s'imposant comme trame, et raison d'être. On sait par ailleurs que Parent a servi pendant deux campagnes sous le marquis d'Alègre, où, selon Fontenelle, il s'instruisit à fond sur les fortifications et leva quantités de plans. On trouve d'ailleurs de lui dans les mémoires de Trévoux pour février 1713, un nouveau système de fortification⁶⁵⁰. Parent montre sa bonne connaissance de la discipline, citant Vauban, bien sûr, mais aussi Coëhorn (le "Vauban hollandais"), Errard, Marolois, Stévin, Marchi, Sardi, le Chevalier de Ville, le comte de Pagan, Fritac, Dögen, Alvare et Mallet.

⁶⁵⁰ PARENT, ANTOINE, "Méthode nouvelle pour couvrir les places de guerre contre les batteries de l'ennemi, avec un projet d'une nouvelle enceinte de place, tiré de douze des plus célèbres fortificateurs", *Mémoires pour l'histoire des sciences & des beaux-arts*, n° Février, 1713, pp 348-361. Le mémoire s'ouvre ainsi (p.348) : "Personne ne doute que la manière dont on fortifie aujourd'hui dans la plus grande partie de l'Europe, ne tende à ces deux fins principales, savoir, de couvrir un petit nombre de troupes & de citoyens contre une puissance armée, & de lui résister le plus longtemps qu'il est possible. De sorte qu'une méthode qui parviendra à ces deux fins par la voie la plus certaine, & avec le moins de dépense, doit être estimée la plus avantageuse."

Ceci n'a rien d'un hasard. On va voir que la pensée de l'ingénieur du 17^e siècle, et notamment de l'ingénieur militaire, présente d'évidentes homologues avec une pensée de l'optimisation. Voyons lesquelles.

5.B.a.ii LA MAXIMISATION DU RAPPORT AVANTAGE/COUT : UNE PROCEDURE TYPIQUE DES INGENIEURS MILITAIRES

Comme le montre Hélène Vérin, *“depuis qu'ils existent, les ingénieurs sont appelés à intervenir dans tous les cas où la nécessité d'un contrôle financier, politique, se combine avec l'obligation d'inventer des solutions techniques particulières, sinon inédites, voire d'innover”*⁶⁵¹. Ces solutions prennent place dans l'ordre de la diversité où règne l'universelle contrariété, c'est-à-dire la contradiction des avantages entre eux, et donc dans un espace du meilleur possible, non de l'absolu. *“Très tôt, il est entendu qu'ils doivent faciliter les décisions en opérant des choix justifiés selon un double impératif : anticiper et optimiser. Ceci, à l'aide des mathématiques”*⁶⁵².

L'art de la guerre est le domaine de prédilection dans lequel va se former le projet d'augmentation des avantages des artifices humains, servant directement les avantages et la puissance des maîtres, notamment par le biais de l'art des fortifications. En ce sens, la technique en général et les fortifications en particulier entrent au cœur de la constitution des Etats, dans l'édification de leurs puissances. La fortification devient une affaire d'Etat.⁶⁵³

En ce qui concerne les ouvrages d'art de grande envergure, ils ne sont pas seulement les outils de la puissance, en favorisant le commerce par exemple par la possibilité d'une circulation plus rapide et plus fluide : ils en sont également le signe, en matérialisant dans le territoire l'autorité du souverain. Ce dernier aspect commencera à perdre beaucoup de son poids à la fin du 17^e siècle.

L'art de l'ingénieur militaire rencontre alors le projet gouvernemental mercantiliste, qui fait de l'accroissement de la puissance du royaume l'oméga de sa politique. Elle doit être atteinte en termes militaires, et en termes économiques. Cette augmentation de puissance ne doit pas tant s'entendre comme la volonté de fonder un empire le plus vaste qui soit, mais plutôt comme le rayonnement d'une influence au sein d'un nécessaire équilibre européen. Le maintien de cet équilibre exige des nations qu'elles s'arment à proportion de ce que ses

⁶⁵¹ VERIN, *La gloire des ingénieurs. On ne saurait trop recommander cet ouvrage puissant et dense, dont la force se révèle en tant qu'objet total, irréductible à la somme des propositions qui le compose. Les historiens n'ont pas fini de le méditer.*

⁶⁵² *Ibid.*: 10

⁶⁵³ *Ibid.*: 97

ennemis sont capables d'attaques, en suivant notamment le développement des techniques militaires. Le commerce international, quant à lui, a pour but d'attirer le numéraire dans le royaume, pour permettre les levées de fonds nécessaire à la pratique de la guerre. Nous reviendrons sur cet aspect plus loin.

Dans ce contexte, le souverain doit constamment perfectionner les artifices militaires : fortifications, artilleries, vaisseaux.... Mais l'argent étant rare, il convient de savoir si les perfectionnements proposés valent la peine d'être mis en œuvre, c'est-à-dire si l'excès de dépense (coût) qu'ils impliquent va être récompensé par un avantage supérieur, par rapport aux artifices précédents, ou par rapport à d'autres. C'est alors tout le problème de la comparaison des avantages qui se pose. Pouvoir répondre à la question précédente, c'est œuvrer à *équivaloir le coût (la dépense) et l'avantage*. Il passe aussi par équivaloir les artifices entre eux (combien de mousquets valent un canon, par exemple).⁶⁵⁴ Dès lors, le perfectionnement des artifices signifiera augmenter l'avantage tout en diminuant le coût.

Ce schéma mental qui se met en place en ce début de 17^e siècle chez les ingénieurs militaires est fondamental dans notre histoire. Il est à la base du calcul des effets dans les artifices, et créent les conditions de possibilité des démarches d'Amontons et de Parent. La différence chez ces deux auteurs cependant, c'est la réduction de l'effet des hommes, des bêtes, des machines, à un seul indicateur, le travail mécanique ou plutôt ses antécédents. Si Amontons raisonne encore en termes d'avantages mécaniques rapportés à une dépense monétaire, Parent, par une différenciation plus nette de l'entrée et de la sortie de la machine, peut séparer les deux ensembles mécanique et économique, séparation qui n'a cependant de sens qu'en ce qu'ils sont les miroirs l'un de l'autre. La dépense de la machine est mécanique, l'avantage est mécanique, et l'optimisation du rapport de l'un à l'autre est l'image directe du profit économique. Une optimisation, et non une simple maximisation, rendue pensable par le même mode de raisonnement que ceux des ingénieurs en général et militaires en particulier, à savoir la rétroaction (l'"universelle contrariété") des avantages entre eux : Parent se rend compte qu'il ne peut pas augmenter en même temps la vitesse du poids de mouvement sans contrarier la grandeur de ce même poids.

L'affinement de cette relation entrée-sortie par la réduction à un seul indicateur (intra et inter-agents producteurs), et sa mise en correspondance directement proportionnelle avec le profit, puis le produit, réalisé, tisse une bonne part de la trame de l'émergence du concept de travail mécanique au premier dix-huitième siècle. On a ainsi vu comment Bélidor, au moins

⁶⁵⁴ *Ibid.*: 243

pour les moulins à blé, réussissait à faire de sa mesure des effets (PV) le liant total de la machine, depuis l'entrée jusqu'à la quantité de blé que le moulin pouvait moudre.

Précisons bien une chose : lorsque nous parlons de schéma mental, il ne s'agit pas de dire que par la pratique de l'art des fortifications, Parent, par exemple, ne fera ensuite que réutiliser des tournures de pensées par simple habitude, comme une tournure d'esprit involontaire. Non. S'il réinvestit cette méthode de raisonnement acquise notamment par l'art de la fortification, c'est que les problèmes et l'environnement auxquels il se confronte alors à l'Académie sont de même type, c'est-à-dire sont portés vers les mêmes buts, et dans les mêmes exigences : augmenter les avantages, et notamment les avantages de l'Etat dans le cadre du projet gouvernemental mercantiliste. Il ne fait que réinvestir dans un contexte similaire des procédures dont il a déjà testé l'efficacité. Tout se réduit en somme à gagner plus en dépensant moins c'est-à-dire augmenter les avantages mais contraint par des ressources limitées. Dans cette définition, ce type de procédure a pu se retrouver à toute époque où ces exigences étaient similaires. Nous reviendrons sur cet aspect plus loin. Pour l'instant, attachons nous brièvement à comprendre comment agit un ingénieur des fortifications.

5.B.a.iii LE PASSAGE D'UNE FORCE-POUR-SOUTENIR A UNE FORCE-POUR-MOUVOIR SE RETROUVE DANS L'ART DU SIEGE

Nous venons de dire que Parent exerce une optimisation, un calcul des avantages (compris ici comme effets de la machine) en découvrant le point optimal pour lequel la somme des avantages est maximale, qui n'est pas la somme des avantages maximaux du fait de la rétroaction des effets sur les causes, autrement dit la contrariété des avantages entre eux (ici grandeur du poids soulevé et vitesse de ce dernier). Ce dernier aspect de la pensée de Parent se rapproche donc d'une démarche d'ingénieur, comme complémentaire de l'aspect que nous avons mis en avant concernant la procédure de maximisation avantage/coût. Nous pouvons cependant discerner encore plus d'homogénéité entre la pensée parentienne et celle des ingénieurs militaires (plus encore que des ingénieurs en général). Il faut se souvenir pour cela de ce que nous avons dit dans le chapitre 2, et à vrai dire tout au long de cette étude, où nous avons mis en avant un élément tout à fait déterminant dans l'émergence du concept de travail mécanique : le dépassement d'une vision statique de la machine au profit de la machine en mouvement. Ce que nous avons synthétisé dans la formule : passage de la force-pour-soutenir à la force-pour-mouvoir. Hé bien ce passage, bien avant que la mécanique n'ait les moyens théoriques de le formuler, on en trouve le thème dans l'art du siège.

Pour le comprendre, examinons les propos de Jean Errard (1554-1610), le célèbre poliorcète, à propos des fortifications⁶⁵⁵ :

*“Les forteresses sont faites, afin qu’une petite force résiste à une grande, ou un petit nombre d’hommes à un grand nombre.”*⁶⁵⁶ Il faut donc calculer *“la proportion du nombre des assaillans avec tout leur attirail, au nombre des assaillis avec toutes leur provisions”*⁶⁵⁷. Si ces deux forces sont égales, alors la place sera imprenable et persévéra infiniment dans cet état :

une place se peut tellement fortifier et munir de toutes choses nécessaires, qu’elle résistera nécessairement à tous les efforts d’une certaine armée, & aussi qu’une armée peut être dressée & fournie de ce qui est nécessaire, en sorte qu’elle prendra infailliblement certaine place : il s’ensuivra que l’une et l’autre se pourront tellement compasser, qu’on les rendra par Art égales, & par ce moyen l’une ne sera jamais victorieuse de l’autre.⁶⁵⁸

Comme le souligne Hélène Vérin, *“l’effort d’abstraction réalisé par Errard est commandé par un modèle théorique qui consiste à considérer un système de fortification à l’interaction de deux forces inégales, et de prendre pour base de ses calculs l’équilibre de ces deux forces”* (p. 289)

Errard propose une quantification de ce *principe d’égalité*, en passant par diverses procédures, notamment par le calcul des effets des machines de guerre telles que les canons, par leur portée, puissance, rythme. La quantification peut passer par l’empirisme, en considérant quels ont été dans l’histoire les sièges où les assaillis furent vainqueurs (ce qui l’amène à mettre en avant la proportion bien connue à l’époque de dix assaillants pour un assailli), ou par des calculs tels que la capacité des assaillis à réparer des brèches dans l’enceinte de la forteresse suivant le nombre de canons assaillant en action, ce qui l’amène à des considérations sur le travail des hommes en ces circonstances.⁶⁵⁹

Comment ne pas voir ici, dans cette égalité d’une petite force avec une plus grande, la même conception qui fonde la science des machines simples, et sa conception paradigmatique de la balance et du levier ?

⁶⁵⁵ Les citations de Errard sont citées par H.Vérin : *Ibid.*: 288-295. Source d’origine : ERRARD, JEAN, ERRARD, A. (éd.), *La Fortification démontrée et réduite en art, par feu J. Errard, ... revue, corrigée et augmentée par A. Errard, son neveu... suivant les mémoires de l’auteur, contre les grandes erreurs de l’impression contrefaite en Allemagne...*, Paris, 1620(1600).

⁶⁵⁶ ERRARD, *La fortification démontrée... 1.*

⁶⁵⁷ *Ibid.*: 10.

⁶⁵⁸ *Ibid.*

⁶⁵⁹ Un homme *“peut de cent pas porter en une heure environ trente hottées de terre : tellement que douze hommes peuvent, sans hasard de leur vie, rétablir en même temps, ce qu’un coup de canon aura ruyné de rempart ; & chacun fera trente, ou trente deux voyages à la brèche”* (*Ibid.*: 8).

Cependant des critiques apparaissent très vite chez les contemporains d'Errard, Claude Flamand (1570-1626), Jean L'Hoste, puis le comte de Pagan (1604-1665)⁶⁶⁰. Ils pointent la chimère d'une place pouvant résister éternellement, et mettent l'accent sur la nécessité de considérer le temps dans l'évaluation des effets :

Tous les effets avantageux que les fortifications peuvent produire ne consistent qu'en la résistance que fait une petite force à une plus grande pour quelque temps seulement⁶⁶¹

[...] je ne prétend pas de rendre les villes imprenables, mais de doubler tout au moins la durée de nos plus grands sièges de force, afin de procurer dans l'espace de quatre ou cinq mois entiers, le salut de la place attaquée, soit par les fréquentes pluies de l'automne, ou par les premières froideurs : soit par le loisir d'une puissante diversion ou par tant de divers & fascheux accidens qui traversent tousjours de si longues entreprises.⁶⁶²

Ce avec quoi Parent sera en parfait accord :

Personne ne doute que la manière dont on fortifie aujourd'hui dans la plus grande partie de l'Europe, ne tende à ces deux fins principales, savoir, de couvrir un petit nombre de troupes & de citoyens contre une puissance armée, & de lui résister *le plus longtemps qu'il est possible*. De sorte qu'une méthode qui parviendra à ces deux fins par la voie la plus certaine, & avec le moins de dépense, doit être estimée la plus avantageuse⁶⁶³

Autrement dit, *la force s'épuise dans l'exercice de sa résistance*. Cet équilibre provisoire ne peut se calculer qu'en passant par la quantification de tous les éléments de la fortification. Il convient, nous disent en somme ces auteurs du premier 17^e siècle, de délaissier l'équilibre pour évaluer les effets suivant les processus par lesquels ils surviennent dans l'ordre du meilleur possible. Ce qui est mot pour mot ce qui fait l'originalité de Parent en 1704.

5.B.a.iv LA RECHERCHE DES RAPPORTS DE LA THEORIE A LA PRATIQUE DANS LA CONSTITUTION DE LA SCIENCE DES INGENIEURS ET D'UN SAVOIR SUR LES MACHINES

Par ailleurs, l'art puis la science des ingénieurs, en général et militaires en particulier, et la constitution d'un savoir sur les machines, entretiennent des rapports anciens et constants. Si Parent s'est intéressé à ces types de connaissances, c'est que les contours en étaient perméables du point de vue des procédures mises en œuvre, en particulier le rapport de la théorie à la pratique. Ce qui intéresse Parent plus que tout, en effet, c'est de pouvoir fonder une forme de technologie, de science de la technique, qui soumette véritablement le réel à l'empire du calcul mathématique : dompter et contrôler la matérialité sans qu'elle ne puisse

⁶⁶⁰ PAGAN, BLAISE-FRANÇOIS DE, *Les fortifications du Cte de Pagan, Paris, C. Besongne, 1645.*

⁶⁶¹ L'HOSTE, JEAN, *Le sommaire de l'art de fortifier, s.l. 1629, Bibliothèque Sainte-Geneviève, ms 1062, cité par VERIN, La gloire des ingénieurs: 294*

⁶⁶² PAGAN, *Les fortifications...* 9, cité par VERIN, *La gloire des ingénieurs: 294.*

⁶⁶³ PARENT, "Méthode nouvelle pour couvrir les places de guerre contre les batteries de l'ennemi, avec un projet d'une nouvelle enceinte de place, tiré de douze des plus celebres fortificateurs": 348. Nous soulignons.

plus avoir son mot à dire une fois calculé son comportement (cf. chapitre 2). Or dès le début du 17^e siècle commence à courir l'idée de pouvoir réduire l'art de l'ingénieur en général et de la fortification en particulier, à être une forme d'application de la théorie suivant des lois mathématiques.

Les ingénieurs militaires du 16^e siècle étaient plutôt occupés à constituer leur art comme discipline, s'attachant d'abord à en exposer les opérations successives, prenant comme point de départ le terrain lui-même, et élaborant sur cette bases des conceptions, des solutions possibles. Les choses se renversent à la charnières des 16^e et 17^e s. La conception se détache de la réalisation matérielle et la précède. Les difficultés rencontrées par les ingénieurs dans le choix de l'ordre à adopter dans la suite des opérations, conduisent à se tourner vers les mathématiques et leur pouvoir démonstratif. La géométrie devient le canal par lequel la fortification s'organise dans une méthode, par des impératifs de prévision et d'anticipation des effets.⁶⁶⁴ C'est le but de Jean Errard en 1600, dont l'originalité provient plus de sa capacité à synthétiser les préoccupations contemporaines que de l'introduction d'un courant de pensée auquel prennent part Stevin ou Galilée.

La catégorie de nécessité s'affirme dans les traités d'ingénieurs au 17^e siècle : la nécessité, caractère de ce qui ne peut pas ne pas être ou ne peut pas être autrement.⁶⁶⁵ Par glissement sémantique les ingénieurs passent constamment de la notion au sens philosophique à des sens plus communs (ce qui est nécessaire). Elle permet d'intégrer l'art à la nature, relativement à la raison, et à la perfection de Dieu.⁶⁶⁶ Ce rapprochement de l'art et de la nature, initié précédemment dans la notion de divine proportion, prend à l'aube du 17^e siècle une autre ampleur par le caractère mathématique qu'on lui prête.

Autrement dit, on attend tout d'abord de la nécessité géométrique appliquée à l'art de l'ingénieur militaire, qu'elle puisse dire *a priori*, l'ordre le plus logique, naturel, euclidien en somme, de l'exécution de travaux et de la disposition des places.

Mais, Errard le précise bien, la nécessaire soumission aux contraintes géométriques n'en est pas la suffisante raison.⁶⁶⁷ Pour ne pas être aussi stérile que la divine proportion, la géométrie ne doit pas s'attacher à découvrir des proportions idéales, mais à expérimenter, mesurer, les effets liés à telle ou telle disposition géométrique (l'effet d'un boulet de canon

⁶⁶⁴ VERIN, *La gloire des ingénieurs*: 142

⁶⁶⁵ *Ce qui suit n'est pas un développement philosophique sur la nécessité et la contingence, dont nous serions bien incapables. Le lecteur intéressé se reportera à la référence classique : VUILLEMIN, JULES, Nécessité ou contingence : l'aporie de Diodore et les systèmes philosophiques, Paris, Editions de Minuit, 1984.*

⁶⁶⁶ VERIN, *La gloire des ingénieurs*: 248.

⁶⁶⁷ *Ibid.*: 256

sur une muraille suivant l'angle de celle-ci par exemple). C'est le réel et l'expérience qui doivent donner son contenu à la géométrie.

Néanmoins une telle recherche se trouve limitée, l'ingénieur évoluant dans un monde où certes les causes commandent aux effets, mais aussi et surtout les moyens répondent à des fins prédéfinies. L'universalité de la nécessité géométrique, même si son contenu n'est pas de pure proportion mais donné par le résultat des expériences matérielles issues du dessin des places, est contredite par la particularité des fins proposées. Seule la convenance, le convenable, subsiste dans le choix du meilleur possible.⁶⁶⁸

La science, définissant la nécessité, et la conception, définissant le meilleur possible, conspirent ensemble au projet de réduction de la distance entre la théorie et la pratique. Ce sera l'enjeu de la constitution de la science de l'ingénieur moderne tout au long du 17^e siècle.⁶⁶⁹ Les outils de cette conjonction espérée se fondent dans l'élaboration de méthodes, dans la mise en avant de modèles, enfin sur la mise en problème des pratiques. Ce n'est qu'au 18^e siècle que commencera à se parer de quelque vraisemblance l'idée d'une application directe de la théorie à la pratique, la seconde soumise à la première. Parent, mais aussi Fontenelle, pensent les choses ainsi, on l'a vu à propos de la constitution d'un discours technologique à l'Académie au début du 18^e siècle dans le chapitre 2.

C'est à peu de choses près le même genre de raisonnement qui advient dans la constitution d'un savoir sur les machines. A la fin du 16^e siècle et au début du 17^e siècle, les machines de l'art, complexes, ne bénéficient pas réellement d'un savoir permettant la prévision et la quantification de leurs actions. A la même époque se constituent, ou plutôt se renouvellent, des théories sur les machines simples, censées pouvoir être analysées suivant une nécessité qui a beaucoup à voir avec la géométrie. Federico Commandino, Guido Ubaldo, Stevin, Galilée, Luca Valerio en sont les acteurs⁶⁷⁰. Ces théories se placent dans la veine classique d'une essence mathématique de la nature dont on conçoit qu'elle puisse aussi

⁶⁶⁸ Soit une forme de finalisme. Un thème précisément en vogue chez les philosophes contemporains, tel que Leibniz, qui envisage le Créateur comme un architecte et un législateur. Leibniz affirme que c'est le choix libre de ce dernier, et non pas une nécessité géométrique, qui fait préférer le convenable et le porte à l'existence. *Ibid.*: 249. Sur Leibniz, cf. le classique GUEROULT, *Leibniz, Dynamique et métaphysique*. Voir aussi PASINI, ENRICO, "La philosophie des mathématiques chez Leibniz. Lignes d'investigation." *Nihil sine ratione. Mensch, Natur und Technik im Wirken von G.W. Leibniz, Akten des VII. Internationalen Leibniz-Kongress.*, Berlin, Leibniz-Gesellschaft, 2001, 954-963, ainsi que PASINI, ENRICO, *Il reale e l'immaginario. La fondazione del calcolo infinitesimale nel pensiero di Leibniz*, Torino, Sonda, 1993.

⁶⁶⁹ VERIN, *La gloire des ingénieurs*: 246

⁶⁷⁰ SERIS, *Machine et communication*: 21-22.

réglent les artifices, exploitant l'analogie entre artifice et nature.⁶⁷¹ Mais entre l'analyse géométrique et la matérialité se place un gouffre que ni les praticiens ni les théoriciens ne savent résoudre, d'autant plus que le mépris réciproque entre art et science en général, et théoriciens et homme de l'art en particulier, reste vivace.⁶⁷² L'absence d'une théorisation des frottements, en particulier, empêche toute correspondance entre théorie et expérience, entre le prétendu universel et le singulier.

Réduites à la combinaison d'une demi douzaine de figures canoniques, et statiques, les machines trouvent alors dans les livres de Théâtres qui fleurissent de la fin du 16^e siècle jusqu'au milieu du 17^e siècle, l'expression proprement baroque de leur foisonnement.⁶⁷³ La machine y est conçue sur le modèle de celle de Vitruve, réduite à une combinaison toujours renouvelée d'éléments simples. Dans ces Théâtres, l'important n'est pas tant la finalité des machines que leur fonctionnement et le merveilleux qu'il doit suggérer. Les effets possibles, certes souvent étonnants importent moins que l'admiration et la surprise qui doit frapper les lecteurs-spectateurs par l'écart entre effets inattendus et simplicité des principes mis en œuvre.

La mécanique, quand elle n'est pas seulement la statique mais qu'elle se veut pratique, est la somme de deux démarches, l'articulation d'une géométrie et d'une pratique. Les machines pratiques se veulent les objets d'une géométrie mixte, fruits de la raison

⁶⁷¹ *Il est ainsi bien connu que Galilée trouve l'inspiration de ses travaux de mécanique par la fréquentation de l'arsenal de Venise. Sur ce que la science doit à la technique dans la révolution scientifique, on peut consulter le petit ouvrage suivant : HALLEUX, Le savoir de la main.*

⁶⁷² Cf. ROSSI, PAOLO, *Les philosophes et les machines : 1400-1700, Trad. par VIGHETTI, P. ("I filosofi e le macchine (1400-1700)"), Paris, PUF, 1996(1962): 16.*

D'après Richelet : "Mécanique, adj. Ce mot en parlant de certains arts signifie ce qui est opposé à libéral et honorable. [...] Mécanique, adj. †* Bas, vilain et peu digne d'une personne honnête et libérale."

Néanmoins il faut noter le sigle †*, qui signifie "que le mot ou la façon de parler se prennent figurément, mais qu'ils n'ont cours que dans le style le plus simple, comme dans les vaudevilles, les rondeaux, les épigrammes, et les ouvrages comiques." (RICHELET, PIERRE, *Dictionnaire françois*, Genève, Jean Herman Widerhold, 1680).

Furetière exprime les mêmes idées : "MECHANIQUE, se dit pareillement des Arts serviles, et qui sont opposés aux Arts Libéraux, tels que ceux que pratiquent les Ouvriers qui travaillent non seulement à la construction des machines, mais encore à toutes les manufactures, et aux choses qui servent aux nécessités ou commodités de la vie, comme les Maçons, les Tailleurs, les Cordonniers. On dit que ces gens exercent des arts mécaniques.

MECHANIQUE, se dit aussi d'un homme pauvre, ou d'un avare qui vit d'une manière vile et sordide. C'est un pauvre mécanique. Cet homme a l'Âme mécanique, il vit d'une manière sordide et mécanique." (FURETIÈRE, *Dictionnaire universel*)

Ainsi que l'Académie Française:

"Mécanique, adj. de tout genre. Se dit des Arts qui ont principalement besoin du travail de la main.[...] Il signifie aussi, Sordide, mesquin. Un métier bien mécanique. cela est bien mécanique pour un Gentilhomme. ils vivent d'une manière mécanique. Il est bas.

MECHANIQUEMENT. adv. Sordidement, mesquinement. Il fait toutes les choses si mécaniquement. il vit si mécaniquement. Il est bas." (ACADEMIE FRANÇAISE (éd.), *Le Dictionnaire de l'Académie française dédié au Roy*, 1^o éd., Paris, Veuve Jean-Baptiste Coignard, Jean-Baptiste Coignard, 1694)

⁶⁷³ Sur le théâtre des machines, voir SERIS, *Machine et communication* DOLZA, LUISA & VERIN, HELENE, "Figurer la mécanique : l'énigme des théâtres de machines de la Renaissance", *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, 51, n° 2, 2004

géométrique et mécanique. Mais les livres des théâtres des machines, qui prétendent à la praticité, sont singulièrement peu mixtes. Ils exhibent les effets dans l'ordre des raisons de proportion.⁶⁷⁴

Le théâtre des machines tend à s'épuiser après 1650. A partir de cette époque, sous l'influence de philosophes, savants, ingénieurs, entrepreneurs, et enfin du roi, la constitution d'un savoir sur les machines permettant la prévision et l'anticipation des effets devient une exigence. S'émancipant de l'image et de l'étonnement, le regard est porté dorénavant vers le calcul et le quotidien. On n'attend plus du dessin livresque qu'il dise les effets dans l'ordre de la raison géométrique : on attend désormais des calculs mécaniques, fondés dans la matérialité, et dont on espère la correspondance entre le réel et l'esprit. On ne veut plus seulement l'équivalence des causes aux effets : on veut la détermination des moyens par les fins. Le régime de vérité de la machine, utile ou divertissante, tend à ne plus être la seule curiosité : c'est l'utilité, pour le quotidien, pour la production, pour le service du roi, qui se place au centre du jeu.⁶⁷⁵

Au vu des correspondances, des croisements et des rétroactions incessants et complexes dans la constitution d'un savoir sur les machines et dans celle de la science des ingénieurs, qui empruntent autant à la géométrie et aux mathématiques qu'à la physique mécanique, il n'apparaît pas surprenant que ce soit des savants tels qu'Amontons ou Parent, savants-ingénieurs, qui en viennent à élaborer un concept, le travail mécanique, qui finalement, est la rencontre d'un projet théorique et d'un projet pratique, dans un objectif d'action sur le monde par calcul des effets réels. Il faudra tout le dix-huitième siècle pour que la dichotomie entre théorie et pratique en vienne à se résoudre dans les œuvres des ingénieurs-savants tel que Coriolis, Navier, Poncelet... pour fonder au sens propre une application de la théorie à la technique. L'histoire de l'émergence du concept peut ainsi se lire comme les tentatives d'arrondissement, plus ou moins fructueuses, entre théorie et pratique.

5.B.a.v VAUBAN, L'INGENIEUR ARCHETYPAL

5.B.a.v.1 LE CALCUL DU TRAVAIL DE TERRASSEMENT DES OUVRIERS-SOLDATS PAR VAUBAN

⁶⁷⁴ SERIS, *Machine et communication*: 32 : "L'effet de toutes ces machines est conçu en termes purement géométriques, « raison » est synonyme de « proportion » comme dans les disciplines que le savoir contemporain range dans le même secteur : optique, catoptrique, gnomonique, harmonie, architecture...La raison des effets est contenue dans le dessin."

⁶⁷⁵ Cela fait aussi penser à la mutation de la rhétorique de la preuve à l'Académie Royale des Sciences au début du 18^e siècle, exposée dans : LICOPPE, CHRISTIAN, *La formation de la pratique scientifique : le discours de l'expérience en France et en Angleterre, 1630-1820*, Paris, La découverte, 1996.

Vauban le voyageur infatigable parcourant la France dans sa basterne des décennies durant ; Vauban le poliorcète ; Vauban le conseiller du Roi, Vauban l'administrateur, Vauban l'académicien honoraire de l'Académie Royale des Sciences, président en 1701 et 1705 ; Vauban le maréchal ; Vauban disgracié par Louis XIV pour avoir publié *La Dîme Royale* ; mais surtout Vauban l'ingénieur archétypal de la période qui nous occupe, ce Vauban référence absolue de Bédidor.

Il ne nous appartient pas ici de détailler les rapports qu'entretiennent les différentes dimensions du personnage, d'autres l'ont fait.⁶⁷⁶ Nous évoquerons seulement quelques aspects en évoquant la continuité entre ses fonctions d'ingénieur et les exigences du pouvoir royal.

Vauban, donc, en 1688, commissaire général des fortifications, présente au ministre Louvois une "*Instruction pour servir au règlement du transport et remuement des terres*" datée du 15 juillet.⁶⁷⁷ Dans ce mémoire, le futur maréchal va s'attacher à trouver une norme quantitative du travail des hommes, dans un esprit tout à fait similaire à celui d'Amontons en 1699 et 1703. Le travail défini par Vauban cependant, ne s'apparente pas à un travail mécanique, parce qu'il considère notamment le déplacement horizontal des terres. Ce qui est en jeu est cependant identique : calculer le travail des hommes pour baisser les coûts de production dans une visée de juste prix.

Il faut préciser que les chantiers de fortifications au 17^e siècle ont la particularité d'être attribués à des entrepreneurs selon la procédure des marchés publics, et de faire appel à la main d'œuvre des soldats en temps de paix (une pratique qui subsistera encore au 18^e s.). Faire appel à une entreprise pour le pouvoir mercantiliste, même sous Colbert, n'a rien d'exceptionnel. Le mercantilisme n'est pas ce dirigisme interventionniste et étouffoir à quoi la vulgate économique le réduit trop souvent, opposé sans nuance à un libéralisme dixhuitiémiste où le laisser-faire, laisser passer aurait fini par triompher. Il faut introduire des niveaux supplémentaires.⁶⁷⁸ Ainsi par exemple, le mercantilisme, s'il ne prône pas le libre-

⁶⁷⁶ Il faut citer ici l'excellent travail de : VIROL, *Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat. On consultera aussi avec profit l'édition intégrale de ses Oisivetés : VAUBAN, SEBASTIEN LE PESTRE DE, VIROL, M. (éd.), Les oisivetés de monsieur de Vauban ou Ramas de plusieurs mémoires de sa façon sur différents sujets, Seyssel, Champ Vallon, 2007.*

⁶⁷⁷ Le mémoire fut imprimé une fois, sans les quinze tableaux, dans BELIDOR, BERNARD FOREST DE, *La science des ingénieurs*, Paris, Jombert, 1729, chapitre 8. Depuis, il a été fort heureusement réédité : VAUBAN, *Les oisivetés: tome XI. Il en est également question dans : VIROL, Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat: 169-175. Citons également sur ce même texte de Vauban : PEAUCELLE, JEAN-LOUIS, "Vauban, la normalisation du travail avant Taylor ?" Gérer et comprendre, 87, n° mars, 2007.*

⁶⁷⁸ Nous reportons sur ces questions à l'ouvrage suivant : MINARD, PHILIPPE, *La fortune du colbertisme : Etat et industrie dans la France des Lumières*, Paris, Fayard, 1998. Comme le résume très bien Liliane Hilaire-Pérez, les relectures récentes de l'histoire de la pensée économique argumentent "l'impossibilité de voir dans le mercantilisme un obstacle rédhitoire aux initiatives personnelles et dans le libéralisme un effacement pur et simple de l'Etat" (HILAIRE-PEREZ, LILIANE, *L'invention technique au siècle des Lumières*, Paris, Albin Michel,

échange, est très en faveur de la libre circulation des biens à l'intérieur du royaume. De même, s'il attribue des monopoles, ceux-ci sont conçus comme des dispositions temporaires destinées à suppléer les carences de l'initiative privée.⁶⁷⁹

L'appel aux entreprises par le gouvernement mercantiliste français du second 17^e s., dans les grands travaux de l'Etat, vise à bénéficier des effets de la concurrence, jugée positive puisqu'elle permet de faire baisser les prix. Colbert, ainsi, s'attacha dans ce but à étendre la

2000: 35), et montrent la présence d'une tradition libérale au sein même du mercantilisme. On peut se reporter aussi à : GUERY, ALAIN, "Industrie et Colbertisme ; origines de la forme française de la politique industrielle ?" *Histoire, économie et société*, 8, n° 3, 1989, pp 297-312 ; et à l'ouvrage stimulant mais controversé de MEYSSONNIER, SIMONE, *La Balance et l'horloge : la genèse de la pensée libérale en France au XVIIIe siècle*, Montreuil, Éd. de la Passion, 1989.

De nombreux travaux ont étudié récemment les conséquences de la fin des corporations et la redéfinition des formes institutionnelles de régulation du champ économique au début du XIXe siècle (HIRSCH J.-P. ET MINARD PH., « Laissez nous faire et protégez-nous beaucoup : pour une histoire des pratiques institutionnelles dans l'industrie française (XVIIIe-XIXe siècle) », dans Bergeron L. et Bourdelais P. (dir.), *La France n'est-elle pas douée pour l'industrie ?*, Paris, Belin, 1998, 135-159 ; KAPLAN S. L. ET MINARD PH. (dir.), *La France, malade du corporatisme ? (XVIII-XXe siècles)*, Paris, Belin, 2004 ; COTTEREAU A. « The Fate of Collective Manufactures in the Industrial World : the Silk Industries of Lyons and London (1800-1850) », dans Sabel C. F. et Zeitlin J. (eds), *World of Possibilities. Flexibility and Mass Production in Western Industrialization*, Oxford-Paris, Oxford University Press/MSH, 1993, 75-153). A partir d'un observatoire très singulier et limité, François Jarrige montre aussi que la mécanique a offert des ressources discursives aux fabricants pour lutter contre l'autonomie de la main-d'œuvre et que la dimension disciplinaire de la mécanisation a été promue comme instrument pour pallier l'apparent désordre introduit par la dérégulation du marché du travail (JARRIGE, FRANÇOIS, "Le travail discipliné: genèse d'un projet technologique", *Cahiers d'Histoire - Revue d'Histoire Critique*, n° 110, 2009, pp 99-116).

⁶⁷⁹ Cf. le commentaire très éclairant de Ph. Minard, que nous prenons la peine de reproduire longuement ici, du fait de sa qualité explicative : "[...] en dénonçant l'intervention de l'Etat dans l'économie, [les constituants de 1691] ont pris l'effet pour la cause. Car toutes les mesures de Colbert, conçues à l'origine comme temporaires, visaient à suppléer les carences de l'initiative privée, en particulier la faiblesse de l'investissement productif. Ce qui est en cause ici, c'est la structure même de la société française d'ancien Régime et le privilège nobiliaire. La position privilégiée de la noblesse, au sommet de la hiérarchie sociale, pèse de deux manières. En premier lieu, le modèle aristocratique dominant de comportement et de légitimité privilégie la propriété foncière et les titres : l'achat de terres et d'offices détourne une partie des capitaux de l'investissement industriel, moins noble, moins prestigieux. En second lieu, l'exemption fiscale dont bénéficie la noblesse –c'est-à-dire une large part des fortunes du pays– contribue fortement au déficit du Trésor royal, qui devient quasi-structurel. Pour couvrir ses dépenses, la monarchie est conduite à emprunter : les finances de l'Etat offrent des opportunités multiples de placements rentables aux détenteurs de capitaux, qui se détournent de l'investissement productif au profit d'une intense spéculation financière. Le mal paraît incurable, car toute réforme du système fisco-financier suppose une restriction des privilèges, ce dont la monarchie est politiquement incapable. Ceci explique que l'industrie française se trouve constamment sous-capitalisée, et que Colbert et ses successeurs aient dû multiplier privilèges, encouragements et subventions.

La structure de la société pèse également sur la consommation. Les fortes inégalités de revenus et la faiblesse des classes moyennes en France tendent à bipolariser la demande. D'un côté, les consommations de luxe, destinées aux riches ; de l'autre la masse des produits de qualité courante destinés à la consommation populaire. Du coup, la production de biens de qualité intermédiaire reste insuffisante. Or c'est bien l'essor de ce créneau moyen, entre le haut et le bas de gamme, qui est le moteur de la révolution commerciale et de la « société de consommation » qu'observent les historiens dans l'Angleterre du XVIIIe siècle. Ce marché est le seul qui soit à la fois extensible, rémunérateur et capable d'entraîner la mécanisation. Rien de tel en France. En outre, les exportations présentent une structure analogue à celle du marché intérieur, privilégiant les deux extrêmes, alors que l'Angleterre domine le créneau des qualités moyennes. Là réside la véritable supériorité anglaise. Encore une fois, les vrais blocages dans la France tiennent aux structures sociales, et non à l'interventionnisme administratif qui n'en est souvent que le correctif ou le palliatif (que ce palliatif soit insuffisant voire contre-productif, ou que l'Etat royal soit inconséquent, c'est une autre question)." (MINARD, *La fortune du colbertisme*: 365-366)

concurrence.⁶⁸⁰ L'entreprise était chargée de réaliser le travail en fournissant les ouvriers, machines et matériaux, et faisait l'avance des frais du chantier.

Or il est bien évident que les entreprises, pour obtenir le marché, tendront à proposer des prix qu'elles savent par avance intenable. Cette pratique immorale obligera ensuite l'Etat à débours des sommes conséquentes à l'entreprise ou à un autre entrepreneur pour finir le travail. Cette pratique était même devenue assez courante à la fin du 17^e siècle, et les grands travaux semblaient parfois du fait de ces malhonnêtetés, ou disons de l'excès d'optimisme des entrepreneurs.

C'est ici qu'intervient l'ingénieur. En effet, pour palier à cette situation, il faut savoir précisément et par avance en quoi consiste le travail, et en évaluer le temps de réalisation. Ceci implique l'invention de procédures en vue de sa quantification. C'est le rôle de l'ingénieur, et de son devis, rencontre du projet politique du roi visant l'augmentation de sa puissance, et du projet économique de l'entrepreneur, visant celle de son profit⁶⁸¹, où doit se régler la conjonction de l'intérêt général et de l'intérêt particulier. Le but s'exprime en termes monétaires : trouver le juste prix qui ne lèse aucune des parties.

Ce sont les vues qui animent Vauban en 1688. Corrigeant un précédent règlement afin de palier à ses inconvénients, Vauban propose une solution générale qui pourrait s'appliquer à tous les chantiers de fortification, poursuivant ainsi sa codification des devis des travaux à l'usage des ingénieurs du Roi. Ce mémoire se place dans un cadre particulier, celui de l'édification de l'aqueduc de Maintenon, où 20000 soldats-ouvriers avaient été réunis à partir d'avril 1685, pour dévier l'Eure vers Versailles. Le travail très difficile en zones marécageuses, les fièvres, les désertions, et finalement la guerre de la ligue d'Augsbourg (fin 1688), ont raison du projet qui sera finalement abandonné en 1694.⁶⁸² Rédigeant ce mémoire en juillet 1688, Vauban, grâce aux relevés des contremaîtres sur le travail réalisé, attribue une des causes principales de la désertion au fait que le gain des ouvriers varient considérablement pour les mêmes tâches. Il complète ces observations par des expériences qu'il fait faire en juin 1688 en Alsace.

Ce mémoire aborde deux questions liées : la mesure du travail et son application aux marchés publics.⁶⁸³ Il basera sa démonstration sur quatre principes, à savoir :

⁶⁸⁰ VERIN, *La gloire des ingénieurs*: 221.

⁶⁸¹ *Sur les devis et leurs enjeux*, cf. : *Ibid.*: 227-239

⁶⁸² VIROL, *Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat*: 186.

⁶⁸³ cf. VAUBAN, *Les oisivetés: 1629-1640, pour une analyse exhaustive de ce mémoire*.

- l'estimation d'un travail simple : le terrassement est décomposé en piochage, chargement de brouette et transport des terres, et transformé en calculs de quantité de terre piochée, transportée dans une brouette, et en distances parcourues par jour. Ceci conduit à définir des normes quantitatives de travail ;
- la recherche de l'équité dans le paiement des soldats en prenant en compte toutes les conditions de travail (à travail égal, salaire égal, ce qui implique la possibilité d'une comparaison des travaux (hétérogènes) de roulage (où de surcroît la pente peut varier) et de piochage/chargement (où la nature du sol fait varier la difficulté)) ;
- une volonté de contrôle des charges de l'entrepreneur ;
- l'usage du tableau à double entrée.

Sa norme s'énonce ainsi, ainsi que le résume M. Virol : soit excaver et charger deux toises de terre meuble (deux fois 250 brouettes) par journée de 11 heures l'été, soit les transporter, ce qui correspond à 500 brouettes pleines et 500 vides pour le retour soit une distance de 1000 relais de 15 toises en plaine, soit 30 km ou 1000 relais de 10 toises en montant, soit 19,5 km.⁶⁸⁴

Les ouvriers travaillent par atelier, et sont payés suivant la quantité de toises³ déplacée, qui implique piochage, chargement et roulage dans les brouettes. Le prix de la toise³ est fixé par des ordonnances royales, et dépendent donc d'un règlement. C'est cela que Vauban souhaite modifier.

Sans entrer dans les détails des calculs de Vauban, il faut noter que la norme de productivité calculée par Vauban correspond à la valeur moyenne observée dans les expériences qu'il commande. C'est le même esprit qui animera Bélidor dans l'invention de son compte-tour destiné à la surveillance automatique du travail des ouvriers dont le salaire est indexé sur leur productivité (cf. chapitre 3).

Vauban propose pour les soldats une rétribution de 8 sous pour cette quantité de travail, qui vient s'ajouter aux 3 sous de leur solde en temps de paix, ce que Vauban estime équitable vis-à-vis des autres corps de métiers. Le salaire n'est donc pas indexé sur la valeur intrinsèque de l'ouvrage, mais sur une définition sociale. Vauban propose en outre d'établir la rémunération de l'entrepreneur à la valeur de 6 sous par toise déplacée, indépendamment des

⁶⁸⁴ *Ibid.*: 1634.

conditions de travail, alors que Louvois l'établissait à 5.⁶⁸⁵ Cette hausse vient cependant contrebalancer l'impossibilité du dépassement de la rémunération établie par le devis, maintenant que l'on peut calculer exactement quelle quantité de travail sera nécessaire.

Vauban imagine une démarche inédite,⁶⁸⁶ dont on retrouvera plus tard l'esprit chez Taylor dans sa propension à un même souci de rationalisation du travail, par réglage de la rémunération et de la cadence.⁶⁸⁷ Par la quantification d'une norme de travail, et la définition des gains, Vauban souhaite améliorer la productivité. Il se heurte cependant aux difficultés de la précision des mesures et à l'hétérogénéité des types de travaux réalisés. C'est bien ces mêmes difficultés qui seront en jeu dans le calcul des quantités de travail par le biais du concept de travail mécanique à partir d'Amontons. Par ailleurs chez Vauban, les salaires ne sont pas individualisés, mais distribués à l'atelier, et Vauban cherche surtout à atteindre une baisse du coût salarial. Ce qui pour le coup est assez différent de Taylor, chez qui une partie des gains de productivité devait revenir aux ouvriers.

Cette mesure du travail chez Vauban ne trouvera pas de suite. La raison tient sans doute à ce qu'il ne rencontrera plus la même situation, à savoir de grands travaux dont la normalisation à but d'anticipation et d'économie fut souhaitable.

5.B.a.v.2 IMPORTANCE DU THEME DE LA QUANTIFICATION CHEZ VAUBAN

Cette proposition de règlement est typique du mode de pensée du futur maréchal, issue d'une réflexion d'ingénieur militaire confronté en ce second 17^e siècle à un changement d'échelle des questions militaires. Les effectifs des armées triplent entre 1660 et 1690, entraînant le besoin d'une rationalisation accrue des questions relatives aux fortifications, aux troupes, etc.⁶⁸⁸

Ce qui fait sa spécificité en effet, c'est la volonté d'utiliser la valeur démonstrative du calcul dans tous ses travaux, dont le fil conducteur est à l'évidence la recherche de l'optimisation de la puissance et de la défense du royaume.⁶⁸⁹

⁶⁸⁵ *Ibid.*: 1636

⁶⁸⁶ *Ses précédents travaux ne l'avaient pas amenés à tant de précision. Il définit ainsi précédemment une norme de travail des ouvriers en Amérique : 200 à 250 hommes peuvent défricher un arpent et demi par journée de 8 heures (VIROL, Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat: 177).*

⁶⁸⁷ PEAUCELLE, "Vauban, la normalisation du travail avant Taylor ?".

⁶⁸⁸ PARKER, GEOFFREY, *La révolution militaire : la guerre et l'essor de l'Occident : 1500-1800, Trad. par JOBA, J. ("The military révolution : military innovation and the rise of the West : 1500-1800")*, Paris, Gallimard, 1993. Certains historiens discutent de l'opportunité de parler de "révolution" militaire, pour des raisons qui ont finalement beaucoup à voir à celle que Shapin avance dans son ouvrage, notamment le fait que les changements d'ensemble s'étalèrent sur plusieurs siècles.

⁶⁸⁹ D'après VIROL, *Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat: 27*

Dans cette optique, en tant que membre de l'Académie Royale des Sciences, et malgré le fait qu'il soit honoraire donc peu présent, il est probable que Vauban ait communiqué avec Parent. On trouve en effet un tiré-à-part du mémoire de 1704 sur la plus grande perfection des machines, dans les papiers de l'ingénieur maréchal.⁶⁹⁰ Ce n'est qu'un exemple de plus de son intérêt, mais nous pouvons voir ici comment les mêmes idées structurantes circulent entre ces différents domaines.

On observe d'ailleurs une évolution dans le sens de la quantification à propos de la conception de la fortification de Vauban, selon un schéma que nous avons précédemment relaté pour l'art des fortifications en général. En effet ses démonstrations, telles qu'elles apparaissent dans ses Oisivetés vers 1670, se fondent tout d'abord sur les figures géométriques. Elles prennent ensuite une tournure arithmétique, par l'intervention du calcul dans la mise en scène de la preuve. Une méthode qui met l'accent sur le calcul de l'effet, quelle qu'en soit la définition, et l'optimisation des fins vis-à-vis des moyens. Dans le même temps, on abandonne définitivement la conception des fortifications mettant en avant leur magnificence, en donnant à voir par la préciosité des ouvrages la richesse du monarque. Seul compte l'effet desdits ouvrages, peu importe leur esthétique. C'est un débat que l'on retrouve en architecture, avec par exemple La Hire prenant parti pour que les édifices soient les moins chargés possibles.

C'est une réflexion utilitaire qui semble s'exprimer ainsi dans bien des domaines. Architecture, rhétorique de la preuve à l'Académie des Sciences (voir Licoppe), fortifications, abandon des théâtres des machines, mesure de l'effet des galères supplantant des considérations de magnificence⁶⁹¹ : autant de champs disciplinaires où le foisonnement baroque, le merveilleux, la curiosité, tombent en désuétude au profit de la preuve quantifiée des effets. On ne s'en étonne pas quand on a constaté comme nous toutes les dépendances que ces champs entretiennent entre eux. Simplicité des moyens, maximisation des fins, semble être la règle sous-jacente à toutes les nouvelles pratiques.

Vauban exprime cette méthode calculatoire autant dans les fortifications, que dans le dénombrement de la population (natalité, mortalité et revenus), la réforme de l'infanterie, la logistique des places où le soldat est envisagé comme unité de consommation, le bilan humain de l'aqueduc de Maintenon, la spéculation sur la population porcine, la culture des forêts, l'analyse fiscale au travers de sa proposition de la dîme royale, etc.⁶⁹² On croule sous les

⁶⁹⁰ *Ibid.*: 44

⁶⁹¹ Cf. le débat sur les rames tournantes au chapitre 1

⁶⁹² Consultez les ouvrages cités de M. Virol sur tous ces sujets et d'autres encore.

exemples de la tentation totalisante de tout réduire à la quantification en vue de l'optimisation en vue de puissance de l'Etat.

Tout comme Leibniz (ingénieur dans les mines du Harz⁶⁹³), Vauban est confronté à une forme de rationalité s'apparentant à celle de l'entrepreneur qui doit tirer de ressources limitées un profit maximal.

5.B.b. INVENTIONS ET EXPERTS A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES

Examinons à présent la seconde figure de l'Académicien à l'aube du 18^e siècle, après celle de l'ingénieur : l'expert d'inventions. La question que nous posons est celle-ci : en quoi la fonction d'expert attribuée aux académiciens a-t-elle contribué à l'émergence du travail mécanique. Deux réponses seront apportées dans ce paragraphe. L'une tient à la nécessité de comparer les dispositifs entre eux, et d'examiner la validité des propositions de substitution à la base de beaucoup des dispositifs proposés. L'autre a rapport avec les arguments de légitimation en œuvre à l'Académie vis-à-vis du pouvoir.

5.B.b.i HISTOIRE

Cette idée d'un jugement par l'Etat ou ses serviteurs, des inventions dans l'idée de promouvoir celles qui puissent lui être profitable, ne date pas de cette époque. Elle trouve son origine dans un corpus philosophique (Bacon notamment), et une pratique administrative (celle de la Venise des 15^e et 16^e siècles).

C'est en 1474 qu'apparaît à Venise l'autorisation d'un monopole d'exploitation de dix ans pour des inventeurs, sur la base d'un examen en 3 points, concernant d'une part l'utilité de l'invention pour la cité, d'autre part la transmission du projet au Sénat, et enfin la réalisation effective de l'invention. Au 16^e siècle, l'examen se porte davantage sur l'invention en tant que technique, et plus simplement sur l'évaluation des gains économiques supposés par l'auteur.⁶⁹⁴

La construction des Etats modernes à partir du milieu du 16^e siècle, avides de maintenir leur puissance au sein de l'équilibre européen et soucieux du rôle des arts mécaniques dans la création et la circulation des richesses favorise le développement des techniques et des inventions. En France, la monarchie voit dans l'invention l'un des moyens

⁶⁹³ En 1680 – 1685 Leibniz s'attacha au drainage des mines d'argent du Harz en utilisant des moulins à vent. Il alla une trentaine de fois au Harz, ce qui représente environ trois années. Il ne réussit cependant pas, à cause de problèmes relatifs à la technique et au poids des traditions dans l'activité des mineurs. Cf. ELSTER, JON, *Leibniz et la formation de l'esprit capitaliste*, Paris, Aubier Montaigne, 1975.

⁶⁹⁴ HILAIRE-PEREZ, *L'invention technique au siècle des Lumières*: 40.

d'asseoir sa puissance et perpétue la tradition italienne de collusion entre savoir et pouvoir. Les premiers privilèges sont donnés au 16^e siècle à des inventeurs. Les corporations y voient une menace et tendent à se renfermer. Entre souci d'ordre social et diffusion des inventions, les privilèges sont un élément visant le maintien, et la puissance, de l'Etat. Ces objectifs passent par une augmentation de ce dernier et par une emprise plus forte sur les corps constitués afin de les orienter dans le sens des nouvelles politiques.

Bientôt on adjoint une expertise à l'obtention des privilèges. Le pouvoir royal érige un tribunal des inventions dès 1602 (par le biais de Laffemas), composé de douze membres, marchands parisiens et administratifs, qui consultent occasionnellement des gens de métiers. Ces expertises sont concurrencées par les procédures des Parlements, qui arrivent d'ailleurs parfois à casser des privilèges. Par sa politique de mise sous tutelle de la faculté de juger au travers de l'académisme, la monarchie sort victorieuse de ce combat et peut imposer ses seules règles.⁶⁹⁵

Ce sont en effet les savants des sociétés scientifiques, auréolés de leur prestige intellectuel, qui sont appelés par le pouvoir à exercer un jugement. Par exemple, en 1634, le pouvoir recrute parmi l'Académie de Paris, fondée par Etienne Pascal, pour exercer sa sagacité sur une nouvelle méthode proposée par Morin concernant le calcul des longitudes.⁶⁹⁶

5.B.b.ii ROLE DE L'EXPERTISE ACADEMIQUE

C'est donc bien avant le règlement de 1699 que s'établit la pratique d'un examen par les savants sous l'injonction du pouvoir. Néanmoins, le renouvellement de 1699 est décisif en ce qu'il marque l'emprise totale du pouvoir sur la faculté de juger. Au contraire de l'Académie de 1666, à la fois en continuité et en concurrence avec des pratiques académiques déjà existantes et relativement indépendantes de la monarchie, la nouvelle académie de 1699 se voit fondée dans une politique royale de monopole quasi-exclusif de l'expertise scientifique au sommet d'une hiérarchie académique.⁶⁹⁷ Les autres sociétés savantes sont pensées comme les relais sur le territoire de l'idéologie de l'utilité publique promue par le pouvoir, grâce à la diffusion et au développement du savoir.⁶⁹⁸

⁶⁹⁵ *Ibid.*: 49.

⁶⁹⁶ BAYLE, PIERRE, BEUCHOT, J.-Q. (éd.), *Dictionnaire historique et critique, nouvelle ° éd.*, 16 vols., Paris, Desoer, 1820-1824: 10, 537.

⁶⁹⁷ MAZURIC, SIMONE, "Des académies de l'âge baroque à l'académie royale des sciences", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres ; Paris ; New-York, Éd. Tec & doc, 2002, 13-24: 22.

⁶⁹⁸ ROCHE, DANIEL, *Le Siècle des Lumières en province: académies et académiciens provinciaux, 1680-1789*, 2 vols., Paris, Éd. de l'École des hautes études en sciences sociales, 1989.

L'Académie de 1666, dans l'esprit de Colbert, devait juger occasionnellement des mérites des inventions dont la complexité empêchait les ministères de formuler un avis éclairé. La nouvelle Académie voit la fonction d'expertise intégrée à son fonctionnement, et tous les projets techniques sont redirigés vers la compagnie.⁶⁹⁹ En quoi consiste son examen ? L'énoncé de l'article XXXI du règlement de 1699 est bien vague :

L'Académie examinera, si le Roi l'ordonne, toutes les machines pour lesquelles on sollicitera des privilèges auprès de Sa Majesté. Elle certifiera si elles sont nouvelles et utiles, et les inventeurs de celles qui seront approuvées seront tenus de lui en laisser un modèle.⁷⁰⁰

“Nouvelles et utiles”. Derrière cette formule se cachent plusieurs aspects. Dans les faits, les considérations technologiques et économiques sont inséparables. Déterminer si une invention est nouvelle ne suppose pas seulement un examen des principes à l'œuvre et du rapport entre les moyens et les fins via ces principes : cela suppose également une investigation sur les droits de propriété. Juger de son “utilité” pour la société ne se limite pas à déterminer l'effet mécanique de la machine : cela revient aussi à s'intéresser aux conditions de commercialisation et à la dimension économique de l'effet.⁷⁰¹ Concrètement il faut donc répondre à des questions telles que : l'utilisation de chevaux pour remplacer des hommes dans cette nouvelle machine est elle économiquement rentable ? Ou : selon le prix du bois, utiliser un moulin à feu est-il réellement avantageux au vu de l'effet produit ? Ou : parmi tous les types de machines à remonter les bateaux contre le courant des rivières que l'on a déjà approuvé, n'y en a-t-il pas une qui utilise les mêmes principes ?

C'est dans ce cadre que vient se placer le calcul de l'effet des hommes, des bêtes, des machines. Répondre à ces questions et juger des mérites suppose en effet de pouvoir d'une part comparer les dispositifs entre eux et d'autre part s'assurer de la validité de la substitution à la base de beaucoup de ces artifices (cf. chapitre 1). Et ce sous deux points de vue : mécanique, et économique. Le travail mécanique permet précisément l'articulation de ces dimensions. Voyons en un exemple avec Amontons (détaillée au chapitre 2).

Amontons n'attend pas que l'on juge son moulin à feu : il le fait lui même. Il ne se comporte pas seulement en inventeur, ni uniquement en ingénieur, mais également en expert, juge et partie pour le coup, chargé de vérifier de l'adéquation de son invention aux deux versants de cette enquête économique-mécanique. Sa démonstration imbrique profondément

⁶⁹⁹ HAHN, ROGER, *L'anatomie d'une institution scientifique : l'Académie des sciences de Paris, 1666-1803* ("The Anatomy of a scientific institution : the Paris academy of sciences, 1666-1803"), Bruxelles, Paris; Yverdon (Suisse); Amsterdam, Ed. des archives contemporaines; Gordon and Breach Science Publ.; OPA, 1993(1971): 92.

⁷⁰⁰ Lois, statuts et règlements concernant les anciennes académies et l'institut....

⁷⁰¹ HAHN, *L'anatomie d'une institution scientifique*: 92.

les deux versants de l'enquête, puisque le calcul de l'effet sert *in fine* à justifier du caractère rentable de son moulin. Mais il passe sous silence un coût important, celui de l'investissement de départ. Du coup, son calcul de substitution souffre d'une insuffisance et ne peut se comprendre qu'une fois déjà payé la construction de la machine et le prix des chevaux servant à la comparaison. C'est d'ailleurs sans doute ce coût initial qui aura empêché Amontons de le faire construire, quand on sait déjà que sa machine à polir les verres, dont le coût fut sans doute bien moindre, ne rapporta rien. Quoiqu'il en soit, Amontons prend naturellement les habits de l'expert, sa formation d'ingénieur l'ayant préparé à des questions d'un ordre très similaire.

On voit ainsi que la quantification de l'effet par son concept de *puissance continue* est précisément le critère autour duquel vont s'articuler les enquêtes mécanique et économique, puisque l'une et l'autre en dépendent directement.

C'est la même démarche que l'on observe chez Pitot (cf. chapitre 3). Il dit explicitement que c'est la nécessité de juger les inventions dans les commissions où on le nomme qui l'a poussé à aller plus avant dans sa recherche sur les effets des moulins à eaux.

La possibilité d'une expertise sur les machines permet en outre une autre économie importante : celui des frais matériels de recherche et développement, par son remplacement par une dépense théorique bien moins coûteuse. Fontenelle, par exemple, l'exprime en 1702 : "*le raisonnement seul pourra plus facilement épargner les frais de l'expérience*"⁷⁰². Ceci suppose que la théorie puisse se substituer entièrement à la pratique, ou du moins que la mise en pratique ne requiert aucun frais supplémentaire. On reconnaît là le thème du *devis*, exercice de prévision des effets en même temps que du coût des travaux, typique de l'ingénieur et dont nous avons parlé dans le présent chapitre. La théorie et le devis se rejoignent ainsi dans la pensée de Fontenelle, et c'est exactement la même chose que l'on retrouve chez Desaguliers (cf. chapitre 3) quand il énonce :

Un tel dessein⁷⁰³ que les *François* appellent *devis*, qu'ils exigent de leurs ingénieurs pour les fortifications des places, & de tous les entrepreneurs, quand il s'agit de quelque grand ouvrage, est la seule théorie vraie & complète. [...] Je réponds qu'alors la pratique répondra toujours à la théorie⁷⁰⁴

⁷⁰² HMARS: 1702, H, 134.

⁷⁰³ Un tel dessein : "Pour avoir une théorie complète, il faut que l'Entrepreneur se connoisse en maçonnerie, en charpente, en ouvrages de fer, qu'il sçache la force, la durée, la cohérence des corps, qu'il soit capable, non seulement de donner un dessein générale [sic] de toute la machine, mais d'en détailler chaque partie ; & il doit exprimer les plus petites parties par une échelle exacte, afin qu'on les puisse examiner avec beaucoup d'attention, avant que de rien commencer." (DESAGULIERS, *Cours de physique expérimentale*: 1, 485-486).

⁷⁰⁴ Ibid.: 1, 486. Desaguliers souligne.

Le travail mécanique est l'un des éléments qui doit rendre possible cette convergence de la théorie et de la pratique dans cet objet qu'est devis, lieu de réunion du projet technique et du projet économique.

Tout au long du 18^e siècle, le régime de vérité de l'invention se place dans son utilité, c'est-à-dire sa capacité à séduire les acteurs du marché technique et à répondre aux besoins des producteurs et des consommateurs. Cette association de l'art de gouverner et de la technique doit se comprendre dans le cadre de la politique réformatrice d'un absolutisme éclairé.⁷⁰⁵ Autrement dit, du 16^e siècle au 18^e siècle, le lieu de véridiction de l'invention change : il passe du domaine de la justice, à celui de l'économie. C'est dans ce cadre que vient s'insérer le jugement des artifices par quantification des effets et l'émergence du concept de travail mécanique.

5.B.b.iii EXPERTISE ET RHETORIQUE DE LEGITIMATION

Le travail mécanique, du moins ses antécédents, sert aussi incidemment d'argument dans les stratégies de légitimation à l'œuvre au sein de l'Académie.⁷⁰⁶

En effet, l'académicien endosse la figure d'expert même quand il se place dans des travaux spéculatifs sans examiner des inventions destinées à recevoir des privilèges. C'est alors le caractère potentiel qui est souligné, par Fontenelle notamment, suggérant ainsi que l'académicien étudiant les machines dans ses travaux théoriques a la même fonction et poursuit les mêmes buts que dans sa pratique d'expert.

Dans ce cadre, on assiste à une mise en récit destinée à convaincre le lecteur, même dans les cas limites. Citons ainsi Fontenelle relatant des calculs de Parent de 1701 :

M. Parent a cherché de même s'il n'y avoit rien à reformer à la pratique ordinaire de mettre l'axe du Moulin précisément dans la direction du vent [...] Par ce circuit savant, M. Parent n'arriva qu'à justifier la pratique commune. Il faut mettre l'axe des moulins dans la direction du vent : on les y mettoit ; mais on n'étoit pas si sûr qu'il les y faut mettre.⁷⁰⁷

Devant le côté un peu vain, voire même un peu ridicule d'une telle démarche qui finalement n'invente rien, Fontenelle argumente de la sécurité apportée par l'expertise académique :

⁷⁰⁵ Comme l'exprime Daniel Roche : "On passe ainsi d'un dirigisme de la surveillance et de l'animation qualitative à un dirigisme de l'incitation respectant les intérêts privés, adapté aux lois e la nature, luttant contre la routine et les préjugés, dans l'idée de convaincre le monde de la production de l'intérêt du progrès technique" (in HILAIRE-PEREZ, *L'invention technique au siècle des Lumières*: 16, préface).

⁷⁰⁶ Cf. LICOPPE, *La formation de la pratique scientifique*

⁷⁰⁷ HMARS: 1701, H, 141.

Si c'étoit en quelque façon un sujet de jalousie pour les Savans qu'une machine si parfaite où la Science n'a point eu de part, & où jusqu'ici elle n'a rien ajouté, ils devoient s'en consoler, parce qu'ils sont du moins *les seuls* qui ayent pû s'assurer pleinement de toute sa perfection.⁷⁰⁸

Soulignons : les seuls. Exclusivité de la compétence, exclusion des artistes à prononcer un jugement valide. Même discours dix ans plus tard quand Parent revient sur le sujet des moulins à vent :

[..] M. Parent a remarqué qu'aux environs de Paris l'angle qui devrait être environ de 55 degrés, est de 71 ½, ce qui est trop éloigné de ce que prescrit la Théorie de la Méchanique.

Outre ce défaut bien sûrement connu, & qui ne peut être imputé à la Théorie, il est fort possible qu'il s'en trouve d'autres dans la machine quel'on ne connoisse pas, parce que les Géomètres ne l'ont pas assés examinée. On met 4 aîles, on les fait rectangulaires [...] mais *quelle sûreté a-t-on* que ce soient là & le nombre d'Aîles, & la figure & la proportion, qui conviennent le mieux au dessein de la Machine ! [...] Rien de tout cela n'est démontré, & M. Parent vient enfin dissiper cette incertitude, & fixer toutes les vûes qu'on peut avoir sur cette matière.⁷⁰⁹

La mise en récit de Fontenelle est admirable. Il met tout en œuvre pour qu'on ne puisse jamais penser que la théorie soit en cause. Il ne faut pas faire émerger le doute chez le lecteur. Ceci ruinerait son argumentaire de légitimation de la science à concourir au bien général. Les praticiens doivent donc nécessairement avoir tort. Remarquons aussi comment la figure de l'académicien apparaît après tout un paragraphe consacré à la prétendue incompetence des praticiens, décrivant l'insécurité d'un monde en proie à l'incertitude et au hasard. Parent apparaît alors sur le mode du soudain et de la révélation, tel un saint laïc auréolé de la vérité des calculs, pour *dissiper l'incertitude* en l'espace d'une phrase et guider le monde des praticiens vers la perfection.

Le but est toujours le calcul des effets des objets techniques, et l'émergence du concept de travail mécanique vient précisément se placer dans ce cadre.

Parent, d'ailleurs, n'a pas besoin de Fontenelle pour se mettre en récit, il le fait très bien lui-même. En 1704, comme on l'a vu, il énonce sa croyance en une théorie qui puisse subsumer la pratique entière, et le rôle régulateur du savant :

⁷⁰⁸ *Ibid.* Nous soulignons. On retrouve ce discours dans le *Traité de mécanique* de La Hire, où l'auteur dit en outre que si les ouvriers ont réussi sans le secours des savants, c'est qu'ils font de la géométrie sans le savoir : "Mais comme il n'y a point d'art qui n'ait besoin de la mécanique, aussi ceux qui en font profession n'y réussissent qu'à proportion qu'ils en ont une plus parfaite connoissance : car elle n'est pas seulement nécessaire pour la construction des nouvelles machines, mais encore pour la perfection de celles qui sont le plus en usage, & dont il est impossible de se passer. Ce n'est pas que la nécessité & l'utilité de ces sortes de machines n'aient obligé les hommes par la seule expérience, à les pousser à un degré de perfection, peut-être au-delà de ce qu'ils auroient fait s'ils ne les avoient considérées que comme des exercices de l'esprit sans aucune utilité : mais ce n'est que par le moïen de la mécanique qu'on peut être assuré qu'elles n'ont aucun deffaut, au moins de ceux qu'on peut facilement éviter. [...] on ne doit pas négliger la théorie de cette science, pour ne s'attacher qu'à la pratique. Et s'il s'est trouvé quelques ouvriers qui ayent réussi dans des entreprises assés considerables par la seule pratique, on ne peut pas dire pour cela qu'ils ne sçussent rien de mécanique" (LA HIRE, "Traité de mécanique": 3). Précisons que *mécanique* est bien écrit sans h.

⁷⁰⁹ HMARS: 1711, H, 93. Nous soulignons.

A l'égard des [machinistes non savants] qui ne sont qu'en trop grand nombre pour le malheur du public, on peut dire qu'ils font tout au hasard, & que les plus habiles d'entr'eux ne réussissent dans leurs entreprises, que parce qu'ils emploient souvent autant de force pour une seule machine, qu'il en faudroit pour en mouvoir plusieurs semblables. C'est de-là que sont venues tant de réformations de machines qu'on voit tous les jours, soit par les auteurs même de ces machines, soit par d'autres, qui le plus souvent n'ont pas plus de connoissance qu'eux, ce qui ne peut manquer de causer un grand préjudice aux propriétaires, aux machinistes mêmes, & à ceux qui s'associent avec eux.⁷¹⁰

On sait la réponse que donne Parent : il calcule l'*effet général* de la machine par ses raisonnements innovants, mettant en œuvre un antécédent du concept de travail mécanique. Le discours évolue finalement assez peu jusqu'à la fin des années 30. En 1737, Pitot nous rejoue le même numéro, l'exaspération en plus, comme nous l'avons relaté au chapitre 3:

Dès qu'un machiniste sans principe croit avoir inventé une machine nouvelle, capable de faire un grand effet, l'extrême envie qu'il a de réussir, fait qu'il n'examine plus si cet effet est possible, il passe par dessus tous les inconvénients; l'amour propre, la gloire, & souvent l'envie de gagner & de faire fortune, le persuadent entièrement de la réussite de la machine. S'il demande l'avis des personnes capables de le détromper, c'est à condition qu'on sera de son sentiment, sans cela il en accuse l'envie, & croit qu'on veut lui ravir un bien réel. Enfin, étant pleinement persuadé, il exécute sa machine, il fait de la dépense; c'est encore beaucoup si après le mauvais succès, il reconnoît sa faute, & s'il avoue qu'il a suivi trop légèrement ses idées mal digérées.⁷¹¹

Et même réponse : la certitude de l'effet quantifié par la théorie, qui vient aussi se placer dans l'émergence du concept de travail mécanique.

Cette persistance des discours semble tout de même un peu trop entendue pour qu'elle soit tout à fait spontanée. Déjà, remarquons bien une chose : Pitot, en totale continuité avec ses prédécesseurs, disqualifie l'amour-propre et la recherche du profit égoïste. En cela, il montre sa parfaite adéquation avec les valeurs du mercantilisme ambiant. Le mercantilisme en effet, raisonne en termes d'intérêt général, de service à l'Etat, qu'il ne pense pas résulter de la recherche égoïste du profit maximal de chacun. Boisguilbert, même, pourtant célébré comme l'un des premiers libéraux, ne pense pas autrement lorsqu'il énonce que, s'il est naturel que chacun recherche son profit par amour-propre, il faut tout de même que cet amour-propre soit éclairé, c'est-à-dire que chacun ait conscience de la conséquence de ses actes. Si un vendeur ou un acheteur, voulant pour le premier tirer le maximum du second, et pour le second donner le moins possible au premier, ruine celui qu'il a en face de lui dans cet exercice, le premier détruira la source de son revenu, et le second la source de la satisfaction de ses besoins. En résulte une catastrophe sociale.

En ce sens ces petits récits, tellement similaires à plusieurs décennies d'intervalle, ont un but assez clair. Par une stature d'expert irréfutable, leur permettant de se poser comme rempart contre les délires ruineux de machinistes confondant imagination et vérité, les

⁷¹⁰ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 324.

⁷¹¹ PITOT, HENRI, "Regles pour connoître l'effet qu'on doit espérer d'une machine" *Ibid.*, 1737, M, 269-272: 269.

académiciens donnent à voir non seulement leur utilité mais aussi leur rôle incontournable pour la pérennité de la société.

Il faut protéger la société des ignares et des malhonnêtes : rassurez vous, braves gens, l'Académie veille (et elle seule, puisqu'on a soin d'éliminer les concurrents telle que la Société des Arts dans les années 1730).⁷¹² C'est ainsi que les Académiciens gagneront des places de choix dans toutes les administrations du pays au cours du 18^e siècle. On perçoit toute la rhétorique de légitimation à l'œuvre dans les discours académiques, et déjà relevé par plusieurs historiens.

Bélibidor, lui, en même temps qu'il souligne le rôle indispensable de la théorie, se montre plus mesuré, en argumentant que la théorie peut au mieux être une carte, mais à laquelle ne se réduira jamais entièrement le territoire de la pratique (cf. chapitre 3).

La crédibilité accordée par l'Etat à la capacité des savants à juger des inventions, se double en miroir de la mise en avant par les savants de leur propension à œuvrer pour le bien du royaume. Ainsi, c'est à une légitimation réciproque à laquelle on assiste avec le phénomène de l'académisme scientifique. L'Etat se légitime en mettant la Science (auréolée de son prestige intellectuel et de l'universalité de sa faculté de juger) au cœur des procédures de décision de l'appareil d'Etat, tablant sur ses capacités à quantifier, optimiser et améliorer la production et manifestant ainsi au public sa volonté d'amélioration des conditions économiques⁷¹³ ; et la Science se légitime parallèlement en mettant l'accent sur la potentialité intrinsèque de ses démarches à être utiles à l'Etat.⁷¹⁴

A travers ces jeux de légitimation, se joue une mutation de l'art de gouverner : la politique ne s'affirme plus dans un rapport direct du souverain à ses sujets et à son royaume, mais dans la compétence scientifique d'une administration. La capacité à calculer le travail

⁷¹² PASSERON, IRENE, "La société des arts, espace provisoire de reformulation des rapports entre théories scientifiques et pratiques instrumentales", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres; Paris; New York, Tec&Doc, 2000, 109-132. Voir aussi : HAHN, ROGER, "The Applications of science to society : The societies of art", *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 25, 1963, pp 829-836. *Sous la Régence (1715-1723), une première version de cette Société se tient dans les galeries du Louvre, protégée par Bignon et approuvée le duc d'Orléans (cf. lettre de Liébaux à Bignon, 8 novembre 1728, BnF, fr. 22230, f. 372 ; BnF, fr. 22230, f. 37 ; BnF, Ms fr. 22225, ff. 1-6 ; BnF, Ms fr. 22225, ff. 7-10). Selon le mercure de France, la société bénéficiera en fait de la protection du comte de Clermont (Mercure de France, décembre 1728, pp. 2893-2895). Ces informations sont tirées de l'excellent site internet d'Olivier Courcelle : COURCELLE, OLIVIER, *Chronologie de la vie de Clairaut (1713-1765)*, (consulté le) 7 février 2011; disponible sur <http://www.clairaut.com/n8novembre1728.html>.*

⁷¹³ Cette intégration se réalise pleinement à partir de 1716 et l'enquête du Régent : d'institution soutenue par l'Etat, l'Académie devient une institution au cœur de l'appareil d'Etat.

⁷¹⁴ Plusieurs historiens ont déjà montré cette complémentarité des légitimations entre monarchie et science. Cf. HAHN, *L'anatomie d'une institution scientifique*: 50 sq., LICOPPE, *La formation de la pratique scientifique*, ROCHE, *Le Siècle des Lumières en province*.

(en termes d'ouvrage ou de puissance), pour l'anticiper et l'optimiser, et y faire correspondre le bien général, participe de la définition de cette compétence.

5.B.c. IMPLICATION ET ROLE DU SAVANT OFFICIEL DANS LE MONDE DE LA PRODUCTION VIA LES PROJETS DE DESCRIPTION DES ARTS ET METIERS

Une question est à l'œuvre dans ce paragraphe : les divers projets initiés par le pouvoir de description des arts, impliquant l'action des académiciens et mettant en avant une volonté d'amélioration de la production, sont-ils une des causes de l'émergence d'un concept de travail mécanique ? Nous répondrons négativement, avec quelques nuances.

Dans les deux parties précédentes, nous avons vu d'une part comment les pratiques d'ingénieur ont influencé l'émergence du travail mécanique, et d'autre part comment la nécessité de juger des inventions à l'Académie a favorisé cette émergence. Concernant ce dernier point, nous n'avons pas pu taire la collusion entre savoir et pouvoir s'opérant à l'Académie. Cette collusion, nous allons continuer à l'explorer ici, afin de saisir comment le travail mécanique, en définitive, fut une des solutions mises en œuvre pour répondre aux stratégies gouvernementales.

Cette collusion peut se montrer de bien des manières. En ce qui nous concerne, il nous semble important de retenir trois dates : 1675 (premier projet d'un traité des arts), 1693 (projet relancé par Bignon de description des arts) et 1716 (enquête du Régent). Cette série de dates peut se lire comme la volonté royale d'implication des académiciens dans l'amélioration de la production. Mais c'est dire trop. Car il ne faut pas attendre, du moins pour les deux premières dates, une idée de progression des arts dans une voie indéfinie, comme le suppose une approche technologique à la Parent. Ce n'est en effet qu'à partir de l'enquête du Régent, et les premiers résultats appliqués à la métallurgie, qu'une telle idée prend une forme effective *dans les activités de l'Académie*. Nous soulignons, car si on examine les textes de Parent par exemple, on voit qu'il a lui-même, en dehors de l'Académie, appliqué ses résultats à l'amélioration d'artifices. Ainsi en est-il d'une pompe qu'il fit construire et fonctionner à Paris Belleville, qu'il mentionne deux fois, issue de sa théorie des pompes (dont il ne donnera d'ailleurs qu'un extrait sous forme de 8 problèmes dans ses *Essais et Recherches*).

Ainsi, c'est ce que nous montrons ici, les projets de traités et de descriptions des arts ne peuvent pas être considérés comme des *causes* de l'émergence du travail mécanique, car ils ne répondent pas à une démarche technologique initiant une idée de progrès indéfini des arts.

En 1675, Colbert veut associer les savants pour s'assurer de l'efficacité de techniques déjà sélectionnées, de machines déjà existantes. A partir de 1693, Des Billettes envisage la Description des arts à la manière d'une *encyclopédie* (le terme est de lui, mais ne doit pas se comprendre sous l'angle militant des années 1750) sous les deux angles de la classification logique et de la sauvegarde des techniques. Mais les données de l'enquête du Régent de 1716-1718 (échantillons de minerais, description de techniques) sont directement appliquées par les académiciens à améliorer les arts.

Les deux premières démarches apportent cependant des éléments essentiels : l'idée de la compétence de l'académicien à intervenir dans les arts⁷¹⁵, et l'intérêt pour le monde du travail.

En 1699, après l'expérience de cette petite compagnie des arts, l'idée semble faire consensus que les académiciens serviront aussi bien la spéculation que les arts, pas seulement comme domaines séparés, mais la première agissant sur l'autre. C'est à cette époque, nous semble-t-il, que commence à naître un discours technologique.

Après cette phase de rodage où le pouvoir apprend ce qu'il peut attendre du fonctionnement de l'Académie, l'enquête du Régent semble alors d'une part marquer la convergence de l'art et de la spéculation, dans un objectif de bien général, et d'autre part attester de la crédibilité accordée par le gouvernement à l'efficacité d'une telle convergence. L'amélioration des arts peut enfin marcher sur ses deux jambes technologiques : la connaissance précise des objets techniques en termes matériels, et une théorie spéculative sur les principes régissant ces dispositifs matériels.

Précisons.

5.B.c.i 1675 : LA COMMANDE ROYALE DE DESCRIPTIONS DES MACHINES. SELECTION ET CONSERVATOIRE DES TECHNIQUES.

Colbert a initié un vaste mouvement d'inventaire et de recension exacte des procédés techniques, qui se traduit par la rédaction d'une débauche de procès verbaux et de rapports en tout genre.⁷¹⁶ Il s'agissait de mettre à jour les secrets et les pratiques des artisans, pour pouvoir les comparer entre eux, choisir les plus efficaces, puisque pour Colbert comparaison vaut raison, et imposer ceux-ci dans toutes les manufactures, à fins d'augmentation de la

⁷¹⁵ Après l'échec du projet de 1675, on peut voir l'intégration en 1699 des membres de la petite compagnie des arts de 1693 comme une sorte de ré-acceptation de cette idée. Derrière cependant, se joue des dimensions de lutte d'influence, et de définition des domaines.

⁷¹⁶ SERIS, *Machine et communication*: 59-63

production et d'amélioration des produits. Bref, il faut aller dans les ateliers, exproprier l'artisan de son savoir, afin d'atteindre une meilleure gestion de la production. L'objet et les pratiques techniques vont alors basculer dans le monde de la représentation, verbale et graphique. En effet jusqu'ici, comme l'exprime admirablement Sérís :

La parole immémoriale de l'ouvrier, murmurée ou rêvée dans le dialogue de la main et de l'objet façonné, ces mots à fleur d'ouvrage, ne sont pas énonçables d'entrée de jeu en termes de recettes universellement transmissibles. Entre la verbalisation traditionnelle des idiomes d'ateliers et l'énoncé descriptif d'un procédé dans une langue accessible à tous, on ne peut parler de traduction : ce sont d'autres discours, qui disent autre chose.⁷¹⁷

Bref il s'agit ici de faire aboutir les procédés et outils techniques à une réduction en arts, à déboucher sur une rationalisation et une science des pratiques, en somme à une *technique* au sens fort du mot.

Par ailleurs, les rapports faisant état de ces divers procédés ne sont pas simplement des représentations techniques mais bel et bien des calculs comptables motivés par une volonté d'économie. Le coût des matières premières est chiffré, le temps nécessaire pour les différentes étapes du travail, font l'objet d'une mesure. Il s'agit d'atteindre un coût minimal de la production, en économisant la matière et le temps. Cette dimension se retrouvera dans toute la suite de l'histoire, comme on l'a exposé dans les précédents chapitres.

Cette triple représentation verbale, graphique, et économique vise à rendre possible la comparaison des procédés entre eux, dans le but d'éliminer les gestes inutiles, les procédés trop onéreux, bref, à réduire l'opération technique à son schéma fonctionnel.

On imagine bien qu'un tel projet ne se fit pas en un jour, ni même en 20 ans. Colbert y associa très tôt l'Académie. En 1675, il franchit une nouvelle étape, en s'adressant à elle par l'intermédiaire de Perrault :

La compagnie estant assemblée Mr. Perrault controlleur des bastiments a apporté de la part de Monseigneur Colbert qu'il souhaitoit qu'on travaillast a un Traicté entier de Méchanique qui fust utile aux Ingénieurs.⁷¹⁸

Les ingénieurs sont mis en avant, mais un mois après cette annonce, la proposition, qui vaut ordre, s'est précisée pour inclure tous les praticiens :

La compagnie estant assemblée Mr. Perrault controlleur des bastiments a apporté de la part de Monseigneur Colbert un ordre du Roy a l'Académie des Sciences d'examiner les moyens de faire un Traicté de Mécanique avec une description exacte de toutes les machines utiles à tous les arts et mestiers dont on se sert à présent en France et en toute l'Europe et sa Majesté veut que ce Traicté soit d'utilité et puisse estre entendu et practiqué facilement par toutes sortes de personnes. Dans le mesme temps que l'Académie examinera ces moyens d'exécuter il faut aussi qu'elle fasse choix de personnes, qui seront propres à travailler à ces traittez et à la

⁷¹⁷ *Ibid.*: 60.

⁷¹⁸ *PV*, t. 8, f^o 46 r^o. Le 15 mai 1675.

description de ces machines et qu'elle envoie aussi tost à mon dit Seigneur Colbert son avis sur le tout ; et qu'il est nécessaire qu'elle s'assemble deux jours de suite extraordinairement.⁷¹⁹

Les académiciens s'exécutent, dès le lendemain, et propose que l'ouvrage demandé soit divisé en deux parties, la première théorique, expliquant les principes de la mécanique ; la seconde descriptive et appliquée, comprenant les figures des machines, ainsi que l'application de la théorie.⁷²⁰

Deux jours après encore, le 22 juin, les académiciens décident que la théorie formera une brève introduction de l'ouvrage, rédigée chacun selon leurs compétences par Huygens, Blondel, Mariotte et Picard;⁷²¹ qu'ils enverront à Colbert la liste de ce qu'ils envisagent de traiter, afin de validation ; et que Buot fera un catalogue et une description des principales machines, aidé par Pasquier et du Vivier.⁷²²

Mais Buot meurt rapidement, en janvier 1678, bien que Condorcet donne la date de 1675.⁷²³ En décembre 1677, Buot est toujours vivant mais très malade.⁷²⁴ Il faut sans doute voir là l'une des causes principales de l'abandon du projet.

On peut supposer qu'une des autres causes tient à l'articulation encore malaisée entre savoir et pouvoir dans l'ancienne Académie.⁷²⁵ Son rôle, finalement, est encore en définition. Les trente années qui séparent la première et la nouvelle Académie semblent avoir été une phase de rodage : la science académique se détache d'une démarche de recherches juxtaposée à motivation curieuse, pour asseoir une activité théorique cohérente sur des principes et des méthodes testées. Ce n'est qu'ainsi que la pratique académique put faire l'objet d'un règlement et qu'elle devienne elle-même source de normalisation théorique. Dès lors, sachant ce que l'on pouvait attendre du corps académique, la monarchie, traduisant les attentes du corps social, a pu formuler des demandes précises.⁷²⁶

⁷¹⁹ *Ibid.* f°41 r°/v°. Le 19 juin 1675. Lettre datée du 16 juin.

⁷²⁰ *Ibid.* f° 42 r°. Le 20 juin 1675.

⁷²¹ Des historiens ont argué à plusieurs reprises que le *Traité de mécanique de La Hire de 1695* était une réponse tardive à ce projet (SALOMON-BAYET, CLAIRE, "Un préambule théorique à une Académie des Arts. Académie royale des Sciences (1693-1696). Présentation et textes." *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 23, n° 3, 1970, pp 229-250: 230-231). Mais cette affirmation est douteuse, l'ouvrage de La Hire ne répondant pas vraiment aux exigences de 1675.

⁷²² *Ibid.* f° 44 v° - 45 r°

⁷²³ STURDY, *Science and social Status*: 111.

⁷²⁴ LAUNAY, FRANÇOISE, "Buot [Buhot], Jacques", in HOCKEY, T., et al. (ed.), *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, New York, Springer, 2007, 183.

⁷²⁵ Déjà en 1686, le 30 janvier, Louvois charge La Chapelle de transmettre message suivant à l'Académie : "[...] j'appelle recherche curieuse ce qui n'est qu'une pure curiosité, un jeu, pour ainsi dire un amusement des chimistes. Cette compagnie est trop illustre et a des applications trop sérieuses pour ne s'attacher ici qu'à une simple curiosité. J'entends une recherche utile ce qui peut avoir rapport au service du Roi et de l'Etat [...] (PV : T. 11, f° 157, cité par SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 230.

⁷²⁶ C'est du moins l'opinion exprimée par : MAZAURIC, "Des académies de l'âge baroque à l'académie royale des sciences": 23. Nous sommes plutôt en accord, quand on regarde par exemple ce que Des Billettes dit de

Derrière ces injonctions émanant directement du gouvernement, on perçoit bien d'une part que le commanditaire imagine que la théorie est déjà à disposition. Il s'agit d'un programme de travail, pas d'un travail de recherche. D'autre part, la volonté à l'œuvre, rompant avec la période précédente, est de faire entrer le savoir spécialisé dans la sphère publique, par l'intermédiaire d'un ouvrage consultable par tous, et non plus réservé au cabinet du ministre.

Mais il s'agit ici de décrire des machines *déjà* existantes en France et en Europe, et sans doute Colbert pense-t-il la phase précédente, pendant laquelle il a examiné quantité de machines, les a comparées entre elles, en encourageant les plus favorables, comme une phase préparatoire, un dégrossissage indispensable de l'infini diversité des pratiques et des moyens. Comparaison vaut raison, et les procédés sélectionnés par cette méthode technico-économique se voient investies de l'auréole de la norme. Il s'agit alors d'imposer cette norme par le biais de l'administration.

Derrière ce projet, il y a certes l'idée d'une augmentation de la puissance de l'Etat par des techniques sélectionnées. Mais c'est aussi toute une idée de *maintien* de l'Etat qui transparait ici. L'histoire ne doit pas se répéter : l'Europe, parvenu à un point de développement technique important, ne doit pas voir ses inventions tomber dans l'oubli comme ce fut le cas de ceux des Anciens. Décrites, codifiées, justifiées, les techniques, dans cet état de perfection, sont ainsi déposées en héritage pour le présent et l'avenir, assurant l'éternité d'un achèvement technique et la sauvegarde intemporelle de l'Etat.

Ainsi le travail des académiciens doit concourir à la sauvegarde de l'Etat : les savants reprendront cet argument à leur compte et en feront leurs choux gras.

A la différence du projet colbertien précédant 1675, de sélection des techniques par les ministères, l'académicien entre en scène et vient se placer entre la sélection et les artifices. La norme doit être sélectionnée par une sévère enquête scientifique. On passe d'une juxtaposition à une déduction d'une théorie prétendument déjà là. On n'envisage pas que cette théorie puisse progresser. C'est bien la différence essentielle avec un autre discours, technologique celui-ci, qui prendra naissance à l'aube du 18^e siècle avec les acteurs qu'on a vu. Ainsi les deux démarches colbertiennes sont stérilisatrices, mais la seconde crée les conditions de possibilité d'un discours technologique.

l'Académie en 1693 : "[...]à l'A.d.S [...] chacun en est quitte pour quelque production d'esprit ou d'expérience telle qu'elle se présente sans conséquence ny liaison avec les suites mais icy [dans la Description des arts] c'est un ouvrage continu, qui doit estre digéré, exact et complet." (Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Dossier biographique de Des Billettes, Notes diverses, 28 octobre 1694, article 4, cité par SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 244)

5.B.c.ii 1693 : LA DESCRIPTION DES ARTS ET METIERS. CLASSIFICATION ET LOGIQUE ;
PERENNITE DES TECHNIQUES ET MAINTIEN DE L'ETAT.

L'Académie voit son rôle revivifié dans les années 90 à la mort de Louvois. Elle est alors mise sous la protection de Pontchartrain, qui en confie la direction effective à son neveu Jean-Paul Bignon. Il nous faut dire deux mots de ce personnage important, afin de saisir comment Amontons, ami de Bignon, entre à l'Académie.

5.B.c.ii.1 BIGNON, UN PRAGMATIQUE.

Jean-Paul Bignon (1662-1743)⁷²⁷ est un homme de transition entre deux siècles. Il a joué un rôle de tout premier plan dans l'émergence et la diffusion des Lumières. Entré à l'Académie royale des sciences en 1691 grâce à Pontchartrain, il y assume, d'abord officieusement, le rôle de président. En dépit d'une constitution malingre et d'une certaine myopie, il vécut 81 ans et s'avéra un travailleur infatigable.⁷²⁸

Entre ses mains se trouvèrent concentrées quasiment toutes les instances culturelles de l'époque : les académies, la bibliothèque royale, le collège royal, l'imprimerie royale, la censure, le Journal des savants, la librairie, le jardin du roi et l'observatoire.

Le premier homme qu'il fait entrer à l'Académie royale des sciences sous sa présidence est Guillaume Homberg (1652-1715). On connaît le rôle primordial de ce dernier dans la formation du futur Régent, et la vision utilitaire de la science qu'il transmet à ce dernier.⁷²⁹ Cela n'a rien d'un hasard. Bignon, en effet, est un pragmatique, et sa vision de la science se reflète directement dans les nominations qu'il effectue.

Plutôt que la spéculation, il exhortait les savants à répéter les expériences. Se tenant éloigné des systèmes, malgré une métaphysique cartésienne (qui ne l'empêche pas de faire lire l'Optique de Newton à l'Académie), il répétait à qui voulait l'entendre que cette génération avait pour mission d'emmagasiner matériaux et données en vue d'une exploitation

⁷²⁷ Sur la vie de Bignon, cf. STURDY, *Science and social Status*: 222-226, 343-346, 367-374, BLECHET, FRANÇOISE, "L'abbé Bignon, président de l'Académie royale des sciences: un demi-siècle de direction scientifique", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres ; Paris ; New-York, Éd. Tec & doc, 2002, 51-69.

⁷²⁸ STURDY, *Science and social Status*: 225

⁷²⁹ Voir l'introduction de : DEMEULENAERE-DOUYERE, CHRISTIANE & STURDY, DAVID J., *L'enquête du Régent 1716-1718 Sciences, Techniques et Politique dans la France pré-industrielle*, Turnhout (Belgique), Brepols, 2008. Aussi : STURDY, *Science and social Status*: 231. Et bien sûr : FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE, "Eloge de M. Homberg", HMARS, 1715, H, 82-93.

future. Aux botanistes, il préconisait d'abandonner leurs stériles classifications pour s'adonner à la confection de remèdes médicaux, et à l'amélioration de l'agriculture. Il va même jusqu'à tester par lui-même un nouveau modèle de carrosse pour en juger des performances.⁷³⁰

Il n'est alors pas étonnant qu'il embauche Amontons, un instrumentiste et ingénieur, ou Parent, dont tous les travaux sont peints de cette vision utilitaire de la science. Bignon figure d'ailleurs dans la liste des invités au mariage d'Amontons, et figure même en première place de par sa qualité de Conseiller d'Etat.⁷³¹ De quand date leur estime ? D'au moins 1695, date de publication de l'unique ouvrage d'Amontons. Dédié à ces messieurs de l'Académie des sciences, il est invraisemblable que Bignon n'en ait pas eu connaissance. Mais en tant que président de l'Académie, Bignon l'a probablement rencontré avant au sein de l'institution, puisqu'Amontons y présente une clepsydre en 1693 et un nouveau ponton pour les armées en 1694.⁷³² Amontons se faisant connaître à l'Académie dès 1687, introduit par Hubin, il est aussi possible que Bignon ait eu vent du nom d'Amontons avant 1693.

5.B.c.ii.2 LES BUTS DE L'ENTREPRISE SELON GILLES FILLEAU DES BILLETTES.

Bignon mit en place en 1693 une compagnie des arts, qu'il dirigea jusqu'en 1696.⁷³³ Ses membres –Jean Truchet (1657-1729), dit le père Sébastien, Gilles Filleau des Billettes (1634-1720), Jacques Jaugeon (1646-1724),– furent ensuite intégrés comme mécanicien (honoraire pour le premier, pensionnaires pour les deux suivants) à l'Académie en 1699 à l'occasion du nouveau règlement.⁷³⁴

Ce groupe était conçu comme une commission chargée de la description des arts et métiers, à la fois indépendante de l'Académie elle-même, mais complémentaire, se réunissant indépendamment de celle-ci. La première séance dont on trouve mention est datée du 16 janvier 1693⁷³⁵, et la dernière du 31 janvier 1696. Comme précédemment, le pouvoir royal est

⁷³⁰ BLECHET, "L'abbé Bignon, président de l'Académie royale des sciences: un demi-siècle de direction scientifique": 56

⁷³¹ cf. annexe 01 du chapitre 2.

⁷³² Cf. Annexe 03 du chapitre 2.

⁷³³ Madeleine Pinault-Sorensen peaufine actuellement un ouvrage sur la Description des arts et métiers, aux éditions Brepols. Cf. aussi SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts" et pour une période postérieure PINAULT-SORENSEN, MADELEINE, "La description des arts et métiers et le rôle de Duhamel du Monceau", in CORVOL, A. (ed.), Duhamel du Monceau 1700-2000. Un Européen du siècle des lumières, Orléans, Académie d'Orléans, 2001, 133-145.

⁷³⁴ S'adjoignent en outre le graveur Simonneau, plus un consultant, Anisson, directeur de l'imprimerie royale, et un conseiller technique, Granjan, graveur de poisons et de matrices (SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 236).

⁷³⁵ PV ARS: T.13, f°150 r°.

le commanditaire de cette “*description et perfection*”⁷³⁶ de “*tous les arts et métiers*”⁷³⁷. La lecture des Procès Verbaux montre que le travail a été tout à fait conséquent, demandant “*une assiduité et une application extraordinaire, jusqu'a obliger de redoubler les assemblées*”⁷³⁸, et que des planches furent gravées par Simmoneau dès 1693 concernant l'imprimerie.⁷³⁹

Ce ne sont plus cependant les machines qui sont au centre de l'examen, mais plus largement, les arts mécaniques. La curiosité envers le monde du travail est ici encore plus large que précédemment.

Des Billettes fait l'effort de définir ce qu'on doit attendre d'une pareille entreprise :

Un traité des arts tres exact seroit presque une espece d'encyclopédie où il entrerait nécessairement de tout hors quelques verités purement spéculatives. Mais je [...] croy qu'on ne pretend pas mesme traiter icy toutes celles de la geometrie pratique qui sont les principes de quantités d'arts, et qu'on veut plutost les supposer pour eviter toute contestation sur les principes mesmes des principes connus, comme sont les raisons de ce qu'on sçait des effets du levier et autres forces mouvantes. Je m'imagine donc qu'il ne s'agit pas icy de la pure pratique des arts et de l'expliquer si bien en toute son etendue qu'elle devienne comme palpable a ceux mesme qui n'en auroient aucune teinture.⁷⁴⁰

Les *principes des principes* relèvent d'un traité de mécanique tel que celui de La Hire. La rationalisation dont il est question ici ne recouvre donc pas celle d'une enquête sur les lois de la matière. Il s'agit donc de parcourir toute l'étendue du savoir pratique, en faisant attention à l'enchaînement de la description, non à la démonstration.

Les buts sont énoncés par Des Billettes :

- permettre aux ouvriers d'entendre les meilleures pratiques. On peut cependant légitimement douter que les ouvriers aient les moyens d'acquérir un traité sans doute onéreux du fait des figures, et qu'ils aient l'instruction pour le faire
- contournant l'obscurantisme des maîtres, allant (prétendument) jusqu'à cacher leur savoir-faire à leurs apprentis, une telle connaissance serait utile aux apprentis, et donc au public.
- le public ayant à faire appel au service des ouvriers sera mieux à même reconnaître les bonnes et mauvaises qualités des ouvrages et d'en faire corriger les défauts ; le public pourra également mieux s'expliquer sur ses

⁷³⁶ *Ibid.* f°151 v°

⁷³⁷ *Ibid.* f° 150 r°

⁷³⁸ *Ibid.* f° 151 r°

⁷³⁹ *Ibid.* f° 151 r°

⁷⁴⁰ *PV ARS : T.13, fol 154 r°*. Cf. la transcription du texte dans: SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 246 sq.

attente ; enfin il pourra se garder des tromperies des ouvriers et rétribuer leurs ouvrages à leur juste prix⁷⁴¹

- “transmettre une fois à la Postérité tous les meilleurs usages et pratiques des arts” au contraire des Anciens dont tout a été perdu à cause de l’absence de l’impression à cette époque.

Les questions qui taraudent Des Billettes ne tiennent donc pas à l’amélioration des arts et métiers mais d’abord à la sauvegarde des techniques, et au service utile au public par la diffusion des connaissances. Mais surtout, la question est d’ordre classificatoire. En effet, Des Billettes s’interroge principalement sur l’ordre à adopter pour décrire les arts et métiers, qui doit relever d’une nécessité. Doit-on alors commencer par ceux qui sont les plus essentiels au maintien de la vie, comme ceux de l’agriculture ? Ou aux arts permettant la construction des autres ? Ou encore doit-on suivre une logique historique en recréant à contrecoup le cheminement suivi par l’humanité ?

Ces questions ne sont pas simples. Il juge finalement adéquat de commencer par les instruments les plus simples, “qui ont le plus d’ouverture”. Il manifeste ainsi sa volonté d’en passer par une méthode proprement géométrique, cherchant les axiomes de sa rationalisation dans les instruments simples, et les théorèmes dans les arts et métiers plus complexes développés à partir des premiers.

En bref, Des Billettes nous propose un traité à double entrée : logique et classificatoire. D’une part, un ordre d’enchaînement selon lequel « tout métier ne s’exerçant que par des outils », le premier décrit sera celui qui fournit tous les autres arts, et lui-même, des moyens de « fabriquer tout ce que l’on veut » : la mine de fer, les fourneaux, la fonte, la fabrique de fer et de l’acier ; d’autre part, une distribution sous quatre *titres* (animaux, métaux, pierre, plantes), qui recouvriraient facilement, nous dit-il, 100 ou 120 métiers.⁷⁴²

On voit tout le rapport qu’il existe entre ces questions et celles qui animent les ingénieurs militaires du début du 16^e siècle cherchant à organiser leur art dans l’ordre de la nécessité. C’est que se joue le même enjeu : la réduction en arts, selon l’expression consacrée, qui suppose ce type de rationalisation.

Il ne s’agit donc pas d’une accumulation de descriptions comme en 1675. C’est une encyclopédie raisonnée, devant servir à l’action du praticien, et n’excluant pas l’utilisation des descriptions par le savant.

Précisons enfin que Des Billettes sera le maître de Parent à l’Académie. Ce choix fait sens avec l’intérêt de Des Billettes pour les questions techniques : outre cette description, on

⁷⁴¹ “ selon la perfection ou la défectuosité des ouvrages satisfaire equitablement les ouvriers ”

⁷⁴² SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 240

sait qu'il s'est associé avec le duc de Roannez dans des entreprises d'aménagement de canaux.⁷⁴³ Des Billettes proposa d'ailleurs à l'Académie des systèmes d'écluse qui sauvèrent ses projets de la faillite. De plus Leibniz est parfaitement conscient de toute la valeur de Des Billettes. Il lui écrit en décembre 1696 :

Vous avez, Monsieur, quantité de belles pensées *tant mécaniques qu'économico-politiques*, pourquoi les laisser périr ? Songez-y un peu, je vous en supplie ; vous le devez au public et à l'honneur de votre nation.⁷⁴⁴

Mais on voit aussi la différence des démarches des deux hommes, le maître du côté de la technique rationalisée, l'élève du côté de la technologie. A notre sens, Parent mérite beaucoup plus que Des Billettes l'appellation (anachronique) de technologue.⁷⁴⁵

Les 3 académiciens poursuivront leur recherche au sein de l'Académie à partir de 1699. Nous en avons relevé l'état de la progression de celles-ci dans les HMARS :

en 1699, 1701 et 1702 ils présentent divers résultats sur l'imprimerie et d'autres arts qui y servent⁷⁴⁶

en 1700, ils donnent la description de l'art de faire des Epingles⁷⁴⁷

en 1703, la description de l'art du graveur⁷⁴⁸

en 1705 l'art de faire la poudre à canon⁷⁴⁹

en 1706, l'art de la Papeterie⁷⁵⁰

en 1706 et 1707, l'art du doreur de livres et du batteur d'or⁷⁵¹

en 1707 et 1708, la description de la manière de faire le sucre⁷⁵²

en 1708, l'art de la tannerie⁷⁵³

en 1709, l'art de préparer les cuirs⁷⁵⁴

⁷⁴³ Voir MESNARD, Pascal et les Roannez.

⁷⁴⁴ LEIBNIZ, *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz* 7, 454. Nous soulignons. Claire Salomon-Bayet, commentant cette citation, est d'avis que cette technologie, certes balbutiante, est déjà suffisamment consciente de sa spécificité pour marquer la ligne qui sépare les « descriptions » de « l'inspection », la « réflexion » de la décision économique et politique (les guillemets se réfère à des termes utilisés par Des Billettes). Cf. SALOMON-BAYET, "Un préambule théorique à une Académie des Arts": 232.

Sur Des Billettes, on consultera également : COSTABEL, PIERRE, *Leibniz et la dynamique*, Paris, Hermann, 1960: 16-17. Sur les liens de Leibniz avec les membres de l'Académie : BIREMBAUT, ARTHUR, COSTABEL, PIERRE & DELORME, SUZANNE "La correspondance Leibniz-Fontenelle et les relations de Leibniz avec l'Académie royale des Sciences en 1700-1701", *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 19, n° 2, 1966, pp 115-132.

⁷⁴⁵ C'est sous ce terme qu'est qualifié Des Billettes dans : INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique*.

⁷⁴⁶ HMARS: 1699, H, 119. HMARS: 1701, H, 141 HMARS: 1702, H, 136.

⁷⁴⁷ Ibid. 1700, H, 159.

⁷⁴⁸ Ibid. : 1703, H, 135.

⁷⁴⁹ Ibid. : 1705, H, 137.

⁷⁵⁰ Ibid. : 1706, H, 141.

⁷⁵¹ Ibid. : 1706, H, 141 et Ibid. : 1707, H, 154.

⁷⁵² Ibid. : 1707, H, 154 et Ibid.: 1708, H, 142.

⁷⁵³ Ibid. : 1708, H, 142.

⁷⁵⁴ Ibid. : 1709, H, 112.

Mais rien n'est publié. Finalement Bignon propose la direction du projet à Réaumur (introduit à l'Académie par Varignon en 1708) en 1710 ou 1711.⁷⁵⁵ Ca n'est qu'à partir de là et surtout de l'enquête du Régent que le projet initial de description, et d'accumulation commence à prendre la forme d'une volonté d'amélioration, de progrès, et plus seulement d'un conservatoire.

5.B.c.iii 1716-1718 : L'ENQUETE DU REGENT. VOLONTE DE MISE SOUS TUTELLE DE LA PRODUCTION ; CONVERGENCE DES ARTS ET DE LA THEORIE.

Réaumur, dans un texte de 1720, affirmait que "*les arts profiteront des principes du savant*"⁷⁵⁶ uniquement si les savants se voyaient attribuer des tâches en rapport avec les affaires d'ordre pratique. Le thème de la progression des arts intervient, et Réaumur argumente de tout le bénéfice que la société dans son ensemble pourrait retirer de la nomination d'académiciens à des postes à responsabilité, tel que ceux d'inspecteurs des fabriques, d'ingénieurs civils, ou au sein du Bureau du commerce, chargé de la politique économique de la nation. On voit tout ce que doit ce discours, encore une fois, aux stratégies de légitimation et aux jeux de pouvoir à l'intérieur des structures de l'ancien régime. Réaumur a conscience de la nécessité pour les Académiciens, s'ils veulent s'élever dans la hiérarchie sociale, à se faire reconnaître comme détenteurs d'une fonction sociale, celle de l'amélioration des arts par la science. En ce début de 18^e siècle, ce discours apparaît désormais comme crédible. Les arts et la spéculation vont commencer à s'articuler dans ces années là, jusqu'à donner bientôt des réalisations effectives au sein de l'Académie, par Réaumur même en ce qui concerne la métallurgie.

Cette convergence, si elle n'est pas la cause de l'émergence du concept de travail mécanique, est cependant ce qui va permettre au concept d'avoir une action sur la réalité, par l'enquête minutieuse que la description suppose sur le support matériel dont le concept de travail prétend rendre compte. Ainsi, elle rend également possible le croisement par Bélidor (cf. chapitre 3 *supra*) des démarches d'Amontons (très axé sur la matérialité, les frottements, etc.) et de Parent (tenant d'une technique entièrement soumise à l'analyse théorique).⁷⁵⁷

⁷⁵⁵ DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*: 26. Sur la vie de Réaumur, cf. la source assez vieillie : TORLAIS, JEAN, *Un esprit encyclopédique en dehors de "l'Encyclopédie"*, Réaumur, d'après des documents inédits, Bruges; Paris, Impr. Desclée De Brouwer et Cie ; Desclée De Brouwer et Cie, 1937.

⁷⁵⁶ Cité par HAHN, *L'anatomie d'une institution scientifique*: 95.

⁷⁵⁷ Cette convergence éclaire aussi la différence de démarche entre Bélidor pour qui la théorie n'est qu'un guide imparfait, et Parent. Parent n'ignore pas la matérialité, puisqu'il visite les moulins autour de Paris, et c'est de cela que naît sa volonté de trouver une théorie des effets. Mais Bélidor, de par sa pratique d'ingénieur (qui le différencie de son contemporain Pitot) a trop d'attention aux perturbations engendrées par la matérialité pour

Réaumur et son idée que la science doit intervenir directement dans le monde de la production pour la mener sur le chemin d'un progrès n'est pas nouvelle. Fontenelle l'exprime avant lui, mais c'est l'enquête du Régent à partir de 1716 qui vient acter la confiance du gouvernement en cette entreprise.

A la mort de Louis XIV, et durant la minorité de Louis XV, Philippe duc d'Orléans (1674-1723), fils du frère du Roi-Soleil et de sa seconde épouse Charlotte-Élisabeth de Bavière (princesse palatine), dirige le royaume en qualité de Régent. L'état économique et financier du pays après le règne de Louis XIV, glorieux mais ruineux, est relativement inquiétant. Pour y palier le Régent lance des mesures innovantes, comme l'introduction du système de Law. Il cherche à connaître l'état du pays du point de vue de ses ressources et de ses moyens de production. C'est à cela que sert son enquête initiée en 1716.⁷⁵⁸ Mais à la différence de la précédente enquête de 1697 (pour l'instruction du duc de Bourgogne, dirigée par le duc de Beauvillier), celle-ci est confiée à l'Académie présidée par Bignon.

C'est ainsi rendre effective l'idée que l'institution scientifique interviendrait directement dans la politique économique du royaume. Après le règlement de 1699, cette enquête marque l'intégration de l'Académie à l'appareil d'Etat.

Cette idée est naturelle pour le Régent. On sait que très tôt, il assiste, encore sous le nom de duc de Chartres, aux séances publiques de l'Académie (notamment en 1701). Homberg devient un intime du futur Régent en enseignant la chimie à ce dernier à partir de 1702 et en devenant son médecin en 1704⁷⁵⁹. Pour le duc d'Orléans, les sciences doivent jouer un rôle de tout premier plan pour augmenter et améliorer la production. En tant que tel, il met l'Académie sous sa protection directe.

Bignon exprime les buts d'une telle enquête dans un projet de lettre destinée aux intendants :

Comme la perfection des sciences et des arts fait un des principaux soins de Monseigneur le duc d'Orléans, Régent du royaume, et SAR a reconnu combien les recherches en ce genre peuvent contribuer à faire reflourir la France, [l'Académie] exhorte les François qui ont à portée de contribuer de quelque manière que ce soit, à un dessein si avantageux à leur patrie, de considérer avec attention tout ce que la nature et l'art produisent de plus important dans les régions où ils se trouvent, d'en dresser des mémoires exacts et de les lui envoyer avec des

se laisser entraîner par de telles chimères. C'est précisément la nécessité d'une convergence effective de la pratique et de la théorie, et sa propension à vérifier par l'expérience (il mesure ainsi la quantité de blé pouvant être moulue suivant la quantité PV) qui l'amène si loin dans la conceptualisation du travail mécanique.

⁷⁵⁸ Grâce à l'énorme travail de David Sturdy et Christiane Demeulenaere-Douyere, toutes les pièces de l'enquête ont été publiées (cf. DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*). On reporte à l'excellente introduction de cet ouvrage pour les détails de l'enquête.

⁷⁵⁹ FONTENELLE, "Eloge de M. Homberg": 89-91 Sur les relations entre Homberg et le duc d'Orléans, cf. DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*: 14-17

échantillons. SAR jugera par elle-même de la qualité des découvertes et chargera l'Académie royale des Sciences de les perfectionner et de les appliquer à l'usage, ou du moins à l'instruction de la Nation.⁷⁶⁰

Il s'agit donc d'établir un inventaire, des ressources minières et des techniques, et d'améliorer l'exploitation et la production par le travail de l'Académie sur les données. L'enquête s'intéresse également aux manufactures. Bignon précise :

Par rapport aux ouvrages de l'art. On s'instruira des pratiques des arts qui ne sont point en usage dans le royaume. On examinera tous les procédés depuis le commencement jusqu'à la fin du travail. On remarquera les différentes matières qu'on y employe, leur nature, leur qualité. On s'éclaircira des pays d'où elles viennent.

On décrira avec la plus scrupuleuse exactitude ce qu'on aura appris, sans crainte d'entrer dans les plus petits détails. Si on a des dessinateurs en main, on fera dessiner les outils, les machines ; on fera faire des plans et profils mis en mesurer les échelles. On y pourra joindre les principales attitudes des ouvriers. [...] on prendra aussi des échantillons des matières qu'on employe et de l'ouvrage même en tous les états où il est [...] on sera attentif à ce qu'il y a de singulier par rapport [aux pratiques qui abrègent le travail]⁷⁶¹

Certain des résultats de l'enquête sont rapidement exploités par l'Académie, l'apport principal étant la publication en 1722 par Réaumur de *l'Art de convertir le fer forgé en acier, et l'art d'adoucir le fer fondu*. Beaucoup des informations utilisées par Réaumur proviennent de l'enquête (l'envoi d'échantillon par exemple). Réaumur met l'accent sur l'utilité économique de ses recherches. Par ce moyen son ouvrage est la démonstration de la fécondité d'une approche technologique dans le domaine de la production du fer et de l'acier. Ainsi les fabricants pourront obtenir un acier de meilleure qualité.

Les sciences, et l'Académie, se trouvent dès lors impliquées irrévocablement dans l'amélioration des conditions économiques du pays. Ce n'est cependant pas un projet d'amélioration des conditions sociales dont il est question ici. La production doit être améliorée dans un but économique, pour servir à la puissance de la nation dans le jeu de concurrence européenne. Ainsi, les dangers des conditions de travail des ouvriers, par exemple, ne sont jamais évoqués. Dans la correspondance entre Bignon et Réaumur, les ouvriers ne sont que des "producteurs"⁷⁶². La vision qu'a Fontenelle des ouvriers s'exemplifie à nouveau d'un certain mépris lorsqu'il relate les travaux de Réaumur de 1722 :

[...] les ouvriers n'inventent rien [...] ; *ce sont des espèces d'automates montés pour une certaine suite de mouvemens* ; mais un physicien habile qui les voit faire, et qui sait les regarder comme il faut, ne peut guère manquer d'inventer, surtout s'il est à portée de faire toutes les expériences qui demandent ses réflexions, et s'il a la sagacité d'esprit et l'adresse d'exécution que les expériences demandent.⁷⁶³

⁷⁶⁰ DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*: 78.

⁷⁶¹ *Ibid.*: 80.

⁷⁶² *Ibid.*: 57.

⁷⁶³ HMARS: 1722, H, 44-45. Nous soulignons. On perçoit le mépris classique associé au terme « mécanique » (cf. les dictionnaires Richelet et Furetière), caractéristique de ce qui est bas, vil, servile, en opposition aux arts libéraux. Dans la vision de Fontenelle, l'ouvrier est un simple agent, il transmet, il exécute, et n'a aucun pouvoir décisionnaire, prisonnier de la tradition. C'est une sorte d'unité machinale, un engrenage que l'on peut modifier

Il s'agit, encore une fois pour Fontenelle, d'affirmer la place nécessaire que les académiciens, et personne d'autre, doivent occuper dans la société. Les ouvriers sont disqualifiés au profit du savant académique, seul apte à mener la société dans la voie du progrès scientifique et technique.

Au-delà, l'individu n'est pas pensé parce que les académiciens ne raisonnent que dans l'ordre du service à l'Etat. Ils se montrent aveugles aux considérations morales. Les ouvriers sont les moyens d'une politique économique nationale. Daniel Bernoulli raisonnera un peu de la même manière plus tard (cf. chapitre 4).

Ainsi, l'Académie a su exploiter la nouvelle image du savant issu de la "révolution culturelle"⁷⁶⁴, qui culminera avec le Siècle des lumières. La science et l'homme de savoir se voit attribuer des caractéristiques et des fonctions qui hier encore appartenait à l'homme de religion. Découvrir des vérités universelles, faire preuve de modération et de désintéressement vis-à-vis des vanités du monde. Bref le savant et son activité rationnelle sont propulsés au-delà de l'histoire, dans un rôle de guide pour la société entière.⁷⁶⁵

La collusion française originale entre savoir et pouvoir par le truchement de l'académisme ne put cependant pas conserver longtemps le monopole de la Raison. Vers le milieu du siècle, la prétention de l'Académie à régner sur la faculté de juger et à être la seule interlocutrice du pouvoir en matière de technologie, sera mise à mal. C'est que d'autres composantes de la société œuvrent à récupérer ces prétentions. La Société des Arts des années 30 en sera une des (éphémères) expressions. Les prétentions de la bourgeoisie, la mise en avant de l'individu et l'initiative privée viennent de plus en plus se placer au centre du jeu, ce dont la pensée économique se fait l'écho. L'histoire de cette enquête s'insère ainsi dans le cadre plus vaste des rapports de pouvoir au sein de la société.

et optimiser en le programmant à faire d'autres mouvements. Ces autres mouvements sont définis par le savant, seul apte à déterminer l'optimum. D'après Furetière, 1690, un automate est une "machine qui se remue toute seule, qui a en soy le principe de son mouvement, comme une montre, une horloge à contrepoids, ou autres machines qui se meuvent par ressort. On prononce aftomate".

⁷⁶⁴ HAHN, *L'anatomie d'une institution scientifique*: 50 sq

⁷⁶⁵ "Cette réalisation pleinement consciente renvoyait à l'intellectuel une image de lui-même comme faisant partie intégrante de la société où il jouait un rôle utilitaire primordial. Dans ce contexte, l'utilitarisme n'était pas seulement conçu par rapport aux besoins matériels de l'homme ; il portait une connotation globale qui, au-delà des promesses de réformes politique, sociales et économiques qu'il offrait, impliquait une régénération fondamentale de la société." (Ibid.: 52). Parmi tous les exemples possibles, le panegyrique de Vauban par Fontenelle en 1707 offre une illustration de ce fait : "Personne n'avoit mieux que lui rappelé du Ciel les Mathematiques, pour les occuper aux besoins des Hommes, et elles avoient pris entre ses mains une utilité aussi glorieuse peut-être que leur plus grande Sublimité. De plus l'Academie lui devoit une reconnoissance particulière de l'estime qu'il avoit toujours eue pour elle ; les avantages solides que le Public peut tirer de cet établissement avoient touché l'endroit le plus sensible de son ame."

En conclusion de cette première partie (5.B), nous voyons que l'émergence du concept de travail mécanique, dans ses occurrences de mesure du travail et de l'effet au début du 18^e siècle, fait sens dans l'environnement où elle apparaît, et que cet environnement n'est pas un simple décor. Les fonctions de l'académicien et les attentes qu'on place en lui, l'expliquent en partie. Les savants, nouveaux guides de la société, sont sommés d'utiliser leurs compétences théoriques pour juger des artifices présents et à venir, suivant des critères ministériels d'utilité, et pour mener les arts mécaniques sur la voie d'un progrès indéfini, en utilisant la voie de la maximisation d'un rapport avantage/coût. Dans cette définition, on voit qu'au travers des fonctions de l'académicien, on atteint un autre niveau, celui de l'art de gouverner, puisque l'Etat est le principal interlocuteur de l'Académie. Il faut donc aller plus loin que l'exposé des fonctions ou des formations des académiciens, et expliquer en quoi et jusqu'à quel point les spécificités de l'art de gouverner de l'époque contemporaine entrent en résonance avec l'émergence du concept de travail.

5.C. INTERET ET PROCESSUS, DANS LES PENSEES ECONOMIQUE ET MECANIQUE

Le but de cette partie est de montrer d'une part l'imprégnation économique du concept de travail mécanique, et d'autre part les similitudes entre pensée économique et mécanique, à la fin du 17^e s. et au premier 18^e s.

5.C.a. AGENCER L'ESPACE DE JUSTICE DU PROFIT PAR LES LOIS NATURELLES DE LA MATIERE : JANSENISME, PROFIT, ET ACADEMISME

5.C.a.i QUE CHERCHENT A FAIRE PARENT, AMONTONS, ET VAUBAN ?

Quel est le but des mesures de l'effet des machines et du travail des hommes et des chevaux chez Amontons et Parent ? Il n'est pas premièrement, il n'est pas fondamentalement une entreprise de connaissance. La connaissance est le corrélatif d'une volonté d'abaisser les coûts de production (Amontons) et d'augmenter le profit des propriétaires (Parent). La démarche est donc axée sur le profit, une certaine idée du profit. Les mesures de la production qu'ils effectuent ne sont donc que les moyens d'atteindre à ce profit.

Mais il ne faut pas se méprendre sur cette idée. Il ne s'agit pas ici d'un profit "pur", c'est-à-dire une recherche maximale et amoralisée de l'intérêt particulier, mais plutôt d'œuvrer à

l'utilité publique, faire en sorte d'éviter que certains s'enrichissent au détriment d'autres. Amontons exprime ainsi sa défiance envers la recherche du seul profit particulier, en 1705, dans un mémoire sur les baromètres :

[...] la plus part de ceux qui ont construit les baromètres, ou [sic] negligé très mal a propos d'y mettre des graduations, qui expriment veritablement les hauteurs du mercure, et [...] ils ont presque toujours substitué à ces graduations veritables des graduations arbitraires, qui n'ont nul rapport aux hauteurs du mercure ; ce qu'ils ont fait sans doute, parce qu'ils ont bien senti la difficulté qu'il y a de rendre ces sortes d'intruments uniformes ; *ce qui en augmenteroit le prix et en diminueroit le débit, c'est ainsi que l'interest est souvent un obstacle à la découverte de la verité*⁷⁶⁶

De même, dans un mémoire sur la résistance du bois en 1708, Parent calcule quelle figure assure la résistance maximale des poutres pour une quantité de matière minimale :

Il paroît par-là que les marchands de bois qui tirent leurs poutres au quarré autant qu'ils peuvent, fort à la vérité à leur profit, puisqu'il est certain & aisé à démontrer en Géométrie que le quarré est le plus grand de tous les rectangles inscriptibles dans la base circulaire d'un arbre. *Mais ils vont contre l'utilité publique*, qui demande que les poutres soient presque toujours mi-plates, si ce n'est pour quelques usages particuliers, comme quand elles doivent résister en tout sens. Il seroit donc à souhaiter que les marchands vendissent toutes les poutres égales en force un même prix ; car les Entrepreneurs y trouveroient encore la diminution du transport, & ceux qui font bâtir auroient des poutres de plus longue durée [...] ⁷⁶⁷

Rappelons ce que Parent dit en 1704 :

A l'égard des [machinistes non savants] qui ne sont qu'en trop grand nombre pour le malheur du public, on peut dire qu'ils font tout au *hasard*, & que les plus habile d'entr'eux ne réussissent dans leurs entreprises, que parce qu'ils emploient souvent autant de force pour une seule machine, qu'il en faudroit pour en mouvoir plusieurs semblables. C'est de-là que sont venues tant de réformations de machines qu'on voit tous les jours, soit par les auteurs même de ces machines, soit par d'autres, qui le plus souvent n'ont pas plus de connoissance qu'eux, ce qui ne peut manquer de causer *un grand préjudice aux propriétaires*, aux machinistes mêmes, & à ceux qui s'associent avec eux.⁷⁶⁸

Ce qu'il faut donc comprendre de cette dernière citation, c'est non seulement que les propriétaires sont lésés pas les ignorants, mais encore que c'est toute la société qui l'est. Augmenter la productivité des roues hydrauliques permet alors de baisser le prix nominal des produits réalisés.

Par conséquent, Amontons et Parent, font jouer leur conception du profit dans l'espace de la justice, de l'équité : quel est le prix juste des marchandises ? Plus exactement, Amontons

⁷⁶⁶ PVARS :24, 1705, 271 v°. Nous soulignons

⁷⁶⁷ PARENT, ANTOINE, "Des résistances des poutres par rapport à leurs longueurs ou portées, & à leurs dimensions & situations; & des poutres de plus grandes résistance, indépendamment de tout système physique", HMARS, 1708, 17-31: 20. Il poursuit : "mais il faudroit que les marchands en débitassent quantité de mi-plates contre une quarrée, après quoi il ne resteroit que de leur indiquer la proportion des côtés que doit avoir une poutre qu'on veut tirer d'une base circulaire pour être la plus forte qui s'y puisse trouver. C'est ce qu'on va chercher dans l'article suivant, puisque si les marchands ne veulent pas s'en servir, du moins sera-t'elle utile pour les propriétaires qui ont des bois à eux qu'ils font débiter pour leur usage particulier.". Licoppe replace ce mémoire dans l'émergence de la rhétorique utilitaire à l'Académie (LICOPPE, *La formation de la pratique scientifique*: 211 sq.). Avant Parent, des architectes tels que Savot, Bullet ou Blondel, raisonnent aussi sur la force du bois, mais excluent la possibilité d'une intervention de géomètres. Ils se fondent soit sur la tradition, soit sur l'expérience.

⁷⁶⁸ PARENT, "Sur la plus grande perfection possible des machines": 324 Nous soulignons.

propose un moyen qui permettent d'atteindre un prix plus juste, donc plus avantageux, sans garantie qu'on puisse faire mieux, tandis que Parent ambitionne d'atteindre *le* prix juste, le prix le plus juste, et garanti comme tel car appuyé sur les lois naturelles de la matière et de ses liaisons.

Il faut remarquer que c'est précisément cet espace de justice qui fonde la démarche de Vauban en 1686, quand il mesure le travail de terrassement des ouvriers-soldats, analysé ci-dessus (5.B.a.v.1). La mesure du travail avait pour but de pouvoir fonder le juste prix de la tâche, qui ne lèse ni le Roi, ni l'entrepreneur, ni l'ouvrier, et d'éviter les friponneries des entrepreneurs. Il faut remarquer en outre que, via la réglementation qu'il propose, le gain maximal de l'entrepreneur est défini par avance, sur la base du calcul de l'ingénieur, et il ne peut demander plus.

On voit donc la progression qui a lieu de Vauban à Parent : on passe de démarches empiriques dont on calcule le moindre coût et donc une plus grande utilité publique, à une démarche qui assure la plus grande utilité publique possible, appuyée sur les lois naturelles ; de l'une à l'autre, c'est une technologie, une science de la technique, qui se met en place.

La condamnation de l'intérêt particulier d'une part, et la recherche d'une plus grande utilité par réduction des coûts d'autre part, sont deux topos de la société de l'époque.

5.C.a.ii L'AMOUR-PROPRE ECLAIRE DES JANSENISTES

Mais pas seulement des topos, au moins pour le premier. On peut même avancer que la conception du profit chez Parent est en définitive une forme de définition de la notion d'amour-propre éclairé des jansénistes. Qu'est-ce que cela veut dire ?

5.C.a.ii.1 DOMAT ET PIERRE NICOLE

On trouve le thème de la condamnation de l'intérêt particulier dans la littérature morale, et en particulier chez des jansénistes⁷⁶⁹ comme Domat et Pierre Nicole. Pour ces deux derniers auteurs en effet, l'homme depuis la Chute, porte envers lui-même un intérêt exclusif

⁷⁶⁹ Rappelons que le jansénisme est cette doctrine chrétienne hérétique sur la grâce et la prédestination, issue de la pensée de Jansénius (exposée dans son ouvrage *L'Augustinus en 1640, interprétation de la thèse de Saint Augustin*) et selon laquelle, sans tenir compte de la liberté et des mérites de l'homme, la grâce du salut ne serait accordée qu'aux seuls élus dès leur naissance. On consultera : TAVENEAUX, RENE, *Jansénisme et politique*, Paris, Colin, 1965, MAIRE, CATHERINE *De la cause de Dieu à la cause de la Nation : le jansénisme au XVIIIe siècle*, Paris, Gallimard, 1998, COTTRET, MONIQUE *Jansénismes et lumières : pour un autre XVIIIe siècle* Paris, Albin Michel, 1998. Plus largement : FORCE, PIERRE & MORGAN, DAVID (éd.), *De la morale à l'économie politique. Dialogue franco-américain sur les moralistes français. Actes du colloque de Columbia University (New-York), 14-16 octobre 1994*, Université de Pau, 1996. Et : ROTHKRUG, LIONEL, *Opposition to Louis XIV: the political and social origins of the French enlightenment*, Princeton, Princeton University Press, 1965.

(amour-propre), au lieu d'aimer Dieu. Cette "peste universelle" lui fait désirer les biens terrestres, la volupté et les honneurs. Nicole ne trouve pas de mots assez durs pour qualifier l'amour-propre.

Alors, l'intérêt particulier d'un seul rencontre les intérêts particuliers de tous les autres qui désirent la même chose. La conséquence est une guerre de tous contre tous :

Cette disposition tyrannique étant empreinte dans le fond du cœur de tous les hommes, les rend violents, injustes, cruels, ambitieux, flatteurs, envieux, insolents, querelleux. En un mot, elle renferme les semences de tous les crimes et de tous les dérèglements des hommes, depuis les plus légers, jusqu'aux plus détestables. Voilà le monstre que nous renfermons dans notre sein. Il vit et règne absolument en nous [...]⁷⁷⁰

Or les hommes, liés entre eux par une infinité de besoins, doivent nécessairement vivre en société s'ils veulent survivre. Ces besoins étant assurés par le travail, les hommes doivent nécessairement travailler. Le travail est dans cette conception une pénitence infligée par Dieu, précisément en conséquence du péché originel.⁷⁷¹ En outre, l'augmentation de leurs désirs ne fait logiquement que concourir à l'augmentation de l'interdépendance entre les hommes et donc à l'augmentation de leur peine.⁷⁷²

Dès lors, comment ces deux aspects, guerre de tous contre tous, et interdépendance des hommes, peuvent-elles mener à une société stable ? La solution proposée tient à la notion d'amour-propre éclairé de Nicole, reprise par Domat.

En effet, dans l'état corrompu où il se trouve, prisonnier de ses passions, l'homme a tout de même suffisamment de raison pour se rendre compte qu'il ne pourra pas obtenir ce qu'il obtient par la seule force. Il s'astreint alors à des convenances sociales, la politesse, le commerce, etc., pour parvenir à satisfaire ses désirs. L'amour-propre éclairé, c'est en somme un amour-propre raisonnable, en tout cas qui utilise la raison pour parvenir à ses fins : *"ce n'est pas la raison qui se sert des passions, mais les passions qui se servent de la raison pour*

⁷⁷⁰ Cf. NICOLE, PIERRE, *Essais de morale*, vol. 3, La Haye, Adrian Moetjens, 1700 (1675) : 115-116 cité par FACCARELLO, GILBERT, *Aux origines de l'économie politique libérale: Pierre de Boisguilbert*, Paris, Anthropos, 1986: 108. Aussi : " C'est le venin de cet amour qui engourdit le cœur de l'homme et l'appesantit ; et qui, ôtant à ceux qui possèdent la vue et l'amour de leur vrai bien, et bornant leurs vues et tous leurs désirs au bien particulier où il les attache, est comme une peste universelle et la source de tous les maux qui inondent la société" (*Ibid.* : 93).

⁷⁷¹ Le travail est donc la punition consécutive à l'existence de l'amour-propre de l'homme. On conçoit dès lors que les oisifs, les fainéants, et plus généralement tous ceux qui ne travaillent pas, comme les mendiants, soient au 17^e siècle si durement réprimés : c'est que leur condition est un blasphème permanent, la marque d'une rébellion contre Dieu lui-même (cf. FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale* : 94). Nicole précise que le travail existait avant la chute, mais qu'il était agréable.

⁷⁷² "de sorte que l'augmentation des besoins et des honneurs de ce monde ne faisant qu'augmenter les servitudes et les dépendances, nous réduit ainsi à une misère plus effective." (NICOLE, PIERRE, *Essais de morale*, vol. 1, La Haye, Adrian Moetjens, 1700 (1671) : 57, cité par FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale* : 95).

arriver à leur fin”⁷⁷³. Ainsi le désir de dominer est maté par le désir de posséder, et c’est ainsi que la paix civile règne. Le vice a le même résultat que la vertu.⁷⁷⁴

Néanmoins, Nicole n’est pas Smith ni même Boisguilbert : il n’a rien d’un libéral. L’amour-propre éclairé ne suffit pas seul à assurer la cohésion sociale. Il faut un contexte, des conditions dans lesquelles elles puissent s’exprimer : c’est l’ordre politique qui est le fondement de tout. Les sociétés, en effet, sont créées par la force. La force implique la domination par un souverain énonçant un code légal dont la violation entraîne le châtement. La crainte entraîne l’obéissance. C’est cette crainte qui oblige l’amour-propre à ruser pour obtenir ses désirs. S’il était laissé à lui-même, la société serait détruite.⁷⁷⁵

Ce jansénisme n’a donc plus rien à voir avec la version pascalienne pour qui l’ordre du monde est sans intérêt, et donc la pensée économique futile. Pour Nicole, Domat, Dieu n’a pas vraiment abandonné la direction du monde aux rois et à leurs ministères : il en est toujours le conservateur. C’est toujours lui qui règne, mais par le truchement des lois naturelles. Nicole et Domat (mais aussi Boisguilbert, Duguet, Le Gros), font un lien entre les conduites collectives et une échelle de valeurs. C’est par la justice qu’on parvient aux richesses.⁷⁷⁶ Oublier la justice, c’est ainsi parvenir à la ruine, à une déstructuration de la société. C’est en somme une seconde faute, mais cette fois-ci collective et physique, après la première faute individuelle et métaphysique. Il en résulte une morale de connaissance qui doit conduire à la découverte des

⁷⁷³ Nicole cité par FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*: 96. C'est l'ordre de ces termes qui fait l'originalité de Nicole. Auparavant, chez Descartes par exemple (dans le *Traité des passions*), la raison peut utiliser les passions : "Au reste, l'âme peut avoir ses plaisirs à part. Mais pour ceux qui lui sont communs avec le corps, ils dépendent entièrement des passions : en sorte que les hommes qu'elles peuvent le plus émouvoir sont capables de goûter le plus de douceur en cette vie. Il est vrai qu'ils y peuvent aussi trouver le plus d'amertume lorsqu'ils ne les savent pas bien employer et que la fortune leur est contraire. Mais la sagesse est principalement utile en ce point, qu'elle enseigne à s'en rendre tellement maître et à les ménager avec tant d'adresse, que les maux qu'elles causent sont fort supportables, et même qu'on tire de la joie de tous." (DESCARTES, RENE, ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Decartes*, vol. XI : le Monde ; Description du corps humain ; Passions de l'âme ; Anatomica ; Varia Paris, Vrin, 1986: art. 212).

⁷⁷⁴ "On retrouve par exemple presque partout en allant à la campagne, des gens qui sont prêts à servir ceux qui passent, et qui ont des logis tout préparés à les recevoir. On en dispose come on veut. [...]Qu'y aurait-il de plus admirable que ces personnes s'ils étaient animés de la charité ? C'est la cupidité qui les fait agir[...] Quelle charité d'aller quérir des remèdes aux Indes, de s'abaisser aux plus vils ministères, et de rendre aux autres les services les plus bas et les plus pénibles ? La cupidité fait tout cela sans s'en plaindre." (Nicole cité par : FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*: 97). Un texte repris par quantité d'auteurs, de Boisguilbert à Smith.

Comme le précise Faccarello, c'est avec Machiavel qu'un acte commence à être jugé par rapport à ses effets : des passions on est passé aux intérêts, mais ceci n'est valable que pour la sphère publique. C'est à partir du milieu du 17^e siècle que cette idée commence à passer dans le domaine des intérêts privés. Apparaît alors l'idée que des actions très différentes entre elles (qu'elles relèvent des passions ou de la raison) puissent être socialement utiles et manipulables.

⁷⁷⁵ FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*: 99-102.

⁷⁷⁶ PERROT, JEAN-CLAUDE, "Portrait des agents économiques dans l'oeuvre de Boisguilbert", in HECHT, J. (ed.), *Boisguilbert parmi nous : actes du colloque international de Rouen, 22-23 mai 1975 Paris, INED, 1989, 141-156: 155*

lois naturelles par lesquelles advient cette justice. L'amour-propre éclairé de Nicole et Domat est une réponse à cette question.

5.C.a.ii.2 *PIERRE DE BOISGUILBERT : L'INTERET INDIVIDUEL COMME SEUL PRINCIPE REGULATEUR DE LA COHESION SOCIALE*

Pour bien comprendre le point où nous voulons en venir, il faut observer brièvement comment ce thème de l'amour-propre est modifié par Pierre de Boisguilbert à la toute fin du 17^e siècle.

Comme le résume François Pellissier, entre les observateurs critiques de la fin du règne de Louis XIV, tels d'une part Fénelon, l'entourage du duc de Bourgogne, les libellistes du refuge, et Boisguilbert d'autre part, la divergence

oppose aux théoriciens d'un ordre social harmonique, pour qui toute réflexion politique ou économique ne doit que concourir au rétablissement de lois providentielles, les tenants d'une vision désenchantée du monde, qui considèrent qu'entre les phénomènes observables des corrélations sont possibles et qu'il faut les étudier, non pour les purifier, mais pour en percevoir la logique et s'y conformer.⁷⁷⁷

L'originalité, et même la solitude, de Boisguilbert à l'époque, ne proviendrait donc pas tant des questions qu'il aborde que de sa perspective épistémologique.

Pour Boisguilbert en effet, l'amour-propre, l'égoïsme en somme, et l'attitude maximisatrice des agents économiques, conduisent automatiquement à l'harmonie du système. Le bien-être est assuré par le seul jeu de la réalité économique avec elle-même. A cela trois conditions, qui nous importent peu ici⁷⁷⁸. Mais, point important, ces conditions d'équilibre concernent tout autant la classe productive que la classe des oisifs. Et Boisguilbert montre que ces conditions sont détruites par les rentiers qui, en somme, ne connaissent pas les conséquences de leurs actes, parce qu'ils sont trop éloignés de la réalité du jeu des échanges.⁷⁷⁹

Il faut donc qu'un groupe de gens compétents en questions économiques prennent les décisions auxquelles même les rentiers devront se soumettre. Voilà comment le domaine économique manifeste ses premières velléités de *désencastrement* selon l'expression de

⁷⁷⁷ PELLISSIER, FRANÇOIS, "L'économie politique des années difficiles : France 1685-1715"(Thèse de doctorat, Paris I, 1984): 476

⁷⁷⁸ A savoir : qu'un système de prix de proportion soit réalisé, ainsi que la condition tacite des échanges, et une concurrence équilibrée. (FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*: 14). Les prix de proportion correspondent à un égal avantage des vendeurs et des acheteurs.

⁷⁷⁹ "[...] le groupe social de gens habiles et éclairés, aptes à la réflexion et qui ne doivent leur aisance qu'à la prospérité de l'ensemble du système économique, que lequel ils ont donc intérêt à veiller, est le seul capable de rétablir l'équilibre économique et donc de maintenir, sans heurs, la paix civile" (PELLISSIER, "L'économie politique des années difficiles : France 1685-1715": 472).

Polanyi⁷⁸⁰. Plus simplement, le domaine économique commence à se constituer comme un champ autonome.

Puisqu'aucun mécanisme tel que la concurrence ne vient régler les attitudes des rentiers et des financiers, son amour-propre doit donc être éclairé, au sens janséniste du mot. C'est-à-dire que cette classe doit prendre conscience de l'aveuglement effrayant qui est le sien, et qui ne voit pas qu'entre un vendeur et un acheteur, si le premier ou le second cherchent respectivement à obtenir qui le plus haut revenu, et qui le plus bas prix, le premier n'obtiendra en définitive que la ruine de son revenu futur (l'acheteur ne pourra plus rien acquérir et sombrera dans la misère), et le second, à force de tirer par le bas les prix, n'obtiendra que la destruction de la source de satisfaction de ses besoins (le vendeur, donc). C'est la mutualité d'intérêts dont il faut prendre conscience. L'amour-propre éclairé consiste à modérer le gain présent, par la raison, pour rendre possible le gain à venir. C'est un comportement maximisateur non sur l'instant, mais sur la durée qui est souhaitable. La richesse cesse alors d'être un jeu à somme nulle (comme le concevait le mercantilisme, du moins en ce qui concernait le commerce international, puisqu'il raisonnait différemment pour le circuit national), pour s'énoncer, si l'on veut, en termes de dilemme du prisonnier. Autrement dit, le maximum de la somme des intérêts individuels n'est pas la somme des maximums des intérêts individuels.

Dans un premier temps, pour régler l'amour-propre des rentiers, il faut une intervention de l'Etat, par l'intermédiaire de ses lois :

“il n'y a aucun [homme] qui ne fût content, en achetant de la marchandise d'un autre, de l'avoir non seulement à perte de la part du vendeur, mais encore tout ce qu'il y a de vaillant par dessus le marché, tant l'intérêt aveugle des hommes, en sorte que si une autorité supérieure et générale n'intervenait pour arrêter cette avidité à l'égard des denrées absolument nécessaires comme les grains en y mettant le taux, il y a de hommes assez inhumains pour ne vouloir sauver la vie à leurs semblables, dans des occasions pressantes, qu'aux prix de tous leurs biens.”⁷⁸¹

Mais ça n'est pas la panacée, et Boisguilbert se montre réservé sur la généralisation d'une telle pratique. En effet, Boisguilbert doute que le gouvernement ait la capacité de maîtriser un circuit économique aussi vaste et complexe que le circuit français, sans en même temps le dérégler. C'est à la Nature seule, dit-il, d'y mettre bon ordre. L'Etat doit donc “laisser faire la nature”, et l'Etat doit se limiter aux tâches judiciaires. Ici donc, contrairement à Domat et Nicole, et pour peu que l'équité entre protagonistes règne c'est-à-dire que l'un d'eux ne tente pas d'abuser de sa position dominante, le bien général est entretenu par le seul

⁷⁸⁰ *Ou disembeddness. POLANYI, KARL, La grande transformation, Trad. par MALAMOUD, C. & ANGENO, M., Paris, Gallimard, 1983(1944). Une Notion aujourd'hui contestée.*

⁷⁸¹ Boisguilbert, cité par : PELLISSIER, "L'économie politique des années difficiles : France 1685-1715": 403.

jeu de la somme des intérêts particuliers, dans un contexte de libre concurrence permettant un marché ouvert, au sein duquel l'offre et la demande s'équilibrent et provoquent une proportionnalité entre les prix contractés.

Ne glosions pas plus longtemps sur ce sujet, et revenons maintenant entre les murs de l'Académie, ou plutôt entre les pages des Mémoires.

5.C.a.iii INFLUENCE JANSENISTE SUR AMONTONS ET PARENT

Ce qu'il nous semble important de remarquer, c'est qu'à leur manière, les solutions proposées par Amontons puis Parent sur la mesure du travail des hommes, des bêtes et des machines, ne concernent pas premièrement le fonctionnement des machines, mais qu'elles sont des solutions au problème de la sommation des intérêts individuels, et une manière scientifique de les régler.

Des jansénistes, Amontons et Parent reprennent la condamnation de l'amour-propre non éclairé.⁷⁸² Dans le même temps, ils proposent une définition de l'intérêt individuel, de l'amour-propre, qui a beaucoup à voir avec l'idée fondamentale d'entreprise de connaissance des lois divines au travers des lois naturelles, fondée sur un idéal de justice "sociale" (dérivant de la justice de Dieu). Ne nous méprenons pas, cette justice sociale ne doit pas être prise en un sens de secours aux pauvres. La justice sociale, c'est ce qui concourt au bien de l'ensemble de la société, c'est-à-dire l'intérêt général, la richesse du royaume et donc la puissance du Roi. La justice chez Parent, c'est le maximum de l'utilité publique. La justice, c'est que les prix des produits soient les plus bas possibles, afin que plus de biens circulent et que la société augmente son pouvoir. Ce plus bas possible ne doit pas être fondé sur un rapport de domination, mais doit être l'exact reflet d'une loi naturelle qui assure sa légitimité. En l'occurrence, pour le prix des poutres de bois, ce sont les lois de résistance du bois qui doivent dire la figure de la poutre, la figure nécessaire et suffisante pour l'effet envisagé, donc la quantité de matière, donc le prix.

Voilà donc le mécanisme qui doit régler l'intérêt individuel : la correspondance du profit individuel aux lois internes de la matière découvertes par l'entreprise de connaissance scientifique et académique, sous-tendue par une démarche d'optimisation du rapport coûts/avantages. La justice des prix est fondée sur la vérité de la nature découverte par la

⁷⁸² *Au-delà de l'influence, Amontons ou Parent étaient-ils jansénistes ? Difficile de répondre à la question. On sait simplement d'après sa bibliothèque (cf Annexe 01 du chapitre 2), qu'Amontons possédait un livre de Pasquier Quesnel (1634-1719), un théologien janséniste. Quant à Parent, Fontenelle le décrit comme ayant une pratique exacte et austère de la religion. Néanmoins Parent a laissé un écrit traitant de Dieu dans ses Essais et recherches. Un examen plus attentif pourrait permettre de déterminer ses influences.*

science. En dernier lieu donc, la science se pose comme instance de véridiction de la justice, de l'équité. La science est l'instrument incontournable du calcul du prix juste, du profit naturel. C'est vouloir fonder le jeu des intérêts sur une discipline scientifique. Voilà qui concourra à augmenter la richesse du pays.

L'émergence du concept de travail mécanique, dans cette idée, est le corrélatif d'une réflexion sur la légitimation du profit individuel par les lois naturelles. La rencontre du jansénisme et de la mécanique, pourrait-on dire, mais ces deux termes n'épuisent cependant pas la matière.

En effet, ceci nous amène à une autre réflexion importante. Dans cette démarche, la force, c'est-à-dire la coercition légale ou disciplinaire, n'est plus nécessaire à la cohésion sociale ou plus basiquement au respect de l'équité de chaque échange particulier. Certes, Parent dit bien que, malheureusement, rien n'oblige les vendeurs de poutres à fixer le prix de celles-ci sur leur résistance plutôt que sur la quantité de bois qu'elles contiennent. Même, leur intérêt immédiat les incite à continuer à faire des poutres de base carrée. Si bien que son calcul n'est utile, dit-il, qu'aux propriétaires de bois qui s'en servent pour leur usage particulier. Généraliser une telle pratique demanderait donc en premier lieu une intervention légale. Où voulons-nous donc en venir ?

Hé bien, c'est qu'il faut penser au lieu où se trouve exposée cette connaissance : les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, qui bénéficient d'une très large diffusion, et dont les effets sont potentiellement plus efficaces que le code légal, on va le voir dans un instant. C'est là, dans la convergence du lieu physique du livre et de l'espace temporel du Grand Siècle agonisant, que l'idéal baconien de diffusion des connaissances vient s'agencer à la naissance d'une tradition libérale de l'économie.

En effet, ce qu'on aperçoit en creux chez Parent, sans qu'il le dise explicitement, c'est que la diffusion de la connaissance va entraîner la possibilité d'une concurrence générale et donc la baisse des prix. En effet, admettons qu'un seul propriétaire bénéficie de la découverte de Parent. Il produit alors plus dans le même temps. Il peut donc vendre plus. Mais étant le seul, rien ne l'oblige à baisser le prix de vente de ses ouvrages par rapport aux prix de ses concurrents. Au contraire même, s'il le faisait, il provoquerait leur ruine, nuisible à l'utilité générale. Mais si les connaissances sont diffusées largement, si tous les propriétaires mettent en œuvre ces méthodes, tous devront répercuter la baisse du coût de production sur le prix nominal des produits, et le public sera bien servi tandis que les propriétaires ne gagneront pas moins. Ce qui suppose cependant que les produits puissent tous être écoulés.

Une idée de concurrence en ce début de 18^e siècle ? N'est-ce pas anachronique ? Pas du tout. C'est même très actuel. On a relaté en effet *supra* que l'art de gouverner de cette époque, le mercantilisme, intègre depuis longtemps cette idée de concurrence. La pratique de grands travaux confiés, déjà chez Colbert, à des entreprises par une politique de moins-disant, tient précisément de cette idée. Simplement, le mercantilisme colbertien et ses successeurs, avaient conscience que, temporairement, il fallait exercer une forme de protectionnisme le temps que le système dépasse un seuil critique.

De manière encore plus évidente, au sein même de l'Académie Royale des Sciences, il ne faudra pas longtemps pour passer du sous entendu au déclaratif. C'est chez Réaumur qu'il s'exprime avec le plus d'évidence.

5.C.b. ATTEINDRE LE PRIX LE PLUS BAS POSSIBLE PAR LA CONCURRENCE GENERALISEE

5.C.b.i LIBRE CIRCULATION DU SAVOIR ET CONCURRENCE GENERALE CHEZ REAUMUR

Or on observe un changement très notable de ce discours avec Réaumur. Certes, le travail scientifique permet là encore d'obtenir les prix les plus bas, mais la procédure par laquelle cet effet advient, est différente. Chez Parent en effet, la mise en œuvre de ces découvertes, de ce prix juste, restait à la discrétion des propriétaires.

Réaumur dans *L'art de convertir le fer forgé en acier*, en 1722, s'exprime sur l'opportunité de révéler au public les nouvelles techniques qu'il a découvertes, et sur la liberté que l'on doit accorder à tous ceux qui veulent les mettre en œuvre. Son discours nous dit en substance que la seule manière de concourir à l'utilité publique, c'est non seulement de faire en sorte que ces techniques se diffusent, mais aussi qu'elles soient à bon marché. Et pour ce faire, la seule solution consiste dans la "liberté générale", autrement dit la concurrence libre :

il y avoit deux partis à choisir pour rendre ces arts, & sur tout celui d'adoucir le fer fondu, utiles au royaume [:] ou d'accorder des priveleges à des compagnies qui [...] eussent eu seules le droit de faire ces sortes d'ouvrages, ou de donner une liberté generale à tous les ouvriers d'y travailler. Le premier parti eût plutôt fait paroître des manufactures considerables, & le public eût plutôt à choisir des ouvrages de ce genre. Dès que la liberté est generale, les artisans se chargeront de ce travail ; mais leur peu de fortune ne leur permettant pas de faire les avances necessaires pour fournir à une grande quantité d'ouvrages, & d'ouvrages très-variés, parce que les premiers modelles coûtent cher, les ouvrages s'en multiplieront plus lentement ; les compagnies qui pourroient entreprendre de plus grands établissements, n'oseront peut-être les risquer dans la crainte de voir bientôt leurs ouvrages copiés par tous les petits ouvriers. Mais outre qu'un amour de la liberté porte à souhaiter qu'il soit permis aux hommes de faire ce que quoi ils ont naturellement autant de droit que les autres, c'est que si le établissements se font de la sorte plus lentement d'une maniere moins brillante, ils se font d'une maniere plus utile au public. Comment s'assurer d'une société qui ne soit pas trop avide de gain ? C'est le grand inconvenient des priveleges, qui d'ailleurs lient les mains à ceux qui n'en ont pas obtenu de pareils, & qui auroient été en état d'en faire de meilleurs usages ; qui auroient plus de talens pour perfectionner les nouvelles inventions. Ce n'est pas que les particuliers n'aient pour le profit une ardeur égale à celle de compagnies ; mais la crainte que leurs

voisins ne vendent plus qu'eux, l'envie d'attirer le marchand, leur fait donner à meilleur marché. J'ai eu la preuve de cette nécessité de multiplier le débit ; j'avois permis à quelques ouvriers qui avoient travaillé sous mes yeux dans le laboratoire de l'Academie, de faire des ouvrages de fer fondu ; malgré moi, ils vouloient les tenir à un prix excessif ; quand ils offroient pour 200 liv. en fer fondu ce qui en fer forgé en eût coûté 1200 à 1500, ils croyoient faire assés, quoiqu'ils eussent dû le donner pour quatre à cinq pistoles. Il n'y a donc d'autre maniere de rendre les choses à bon marché, que de mettre les ouvriers dans la necessité de débiter à l'envi.⁷⁸³

Voilà ce qu'est la concurrence, la liberté générale, dans l'esprit de Réaumur : un mécanisme de sécurité qui permet d'assurer par le seul jeu des entrepreneurs sur le marché, le prix le plus bas possible. Et ce, bien mieux que n'aurait jamais pu le faire l'Etat par une politique de privilèges restreints. En somme, un mécanisme autorégulé. C'est précisément ce genre de raisonnement qui est à la base de ce qu'on appellera plus tard le libéralisme. Un mouvement en expansion au moment où Réaumur écrit, et dont l'un des premiers représentants crédibles est Pierre de Boisguilbert à la toute fin du 17^e siècle.

Insistons : c'est un mécanisme de sécurité. Réaumur pose en effet la question essentielle : "Comment s'assurer d'une société qui ne soit pas trop avide de gain ?". Et la réponse tient en un mot : concurrence. La concurrence permet l'agencement de l'intérêt particulier et de l'intérêt général. Ce n'est donc pas par idéologie que Réaumur s'exprime. Ce n'est pas qu'il croit en une puissance métaphysique de la liberté de la diffusion des connaissances ou de la liberté d'entreprendre. C'est simplement que la liberté doit être l'instrument de l'utilité publique et de la richesse collective. Voilà ce qui doit permettre le maintien de l'Etat et même de le fortifier.

En somme, ce sont les mêmes interrogations qui sont reprises de texte en texte, à savoir le maintien de l'Etat, la cohésion sociale, mais en apportant à chaque fois des réponses de natures différentes.

De Vauban à Réaumur, se produit à peu près la même évolution que de Nicole à Boisguilbert. En effet entre ces deux derniers auteurs, on passe d'amour-propre éclairé –qui doit permettre le bien de la société si tant est que l'ordre politique (mécanismes légaux et disciplinaires) assure, par la crainte, le respect de tous envers tous – à un amour-propre autosuffisant car ancré dans un système autorégulateur qu'il faut connaître pour le rendre à ses lois naturelles. De même, Vauban pense un espace de limitation où l'intérêt peut s'exercer, défini par le code légal ; puis Parent et Réaumur, un intérêt autosuffisant, sans limitation externe pour peu que la libre diffusion des connaissances puisse se réaliser.

⁷⁸³ REAUMUR, RENE ANTOINE FERCHAULT SEIGNEUR DE, *L'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé*, Paris, Michel Brunet, 1722: préface, n.p.

5.C.b.ii PRODUCTION ET DESTRUCTION DE LIBERTE

Sur le terme d'ouvriers, il convient de s'entendre. Réaumur n'écrit pas pour les ouvriers, tout comme Parent n'écrit pas pour les simples machinistes, ni Amontons pour les polisseurs de verre, ni Vauban pour les terrassiers. Il écrit pour les entrepreneurs:

Je conviendrai pourtant, & comment n'en conviendrois-je pas ? que la plupart des observations & des reflexions de ces mémoires ne doivent pas instruire le commun des ouvriers ; *elles ne sont presque que pour ceux qui sont capables de conduire des entreprises, qui peuvent faire agir les ouvriers, comme les ouvriers font agir leurs outils* ; en un mot il ne faut pas que tout le monde fasse de l'acier, & des ouvrages de fer fondu, mais il faut mettre en état d'en faire des établissements ceux qui sont capables de les suivre, & nous osons nous promettre que nos memoires suffiront pour cela. [...]

Mais quelque vite que se fassent ces nouveaux établissements, ce sera toujours lentement au gré de l'impatience naturelle à la Nation. [...] On ne marche pourtant à si grands pas dans l'exécution de ce qui demande certains arrangements, de *ce qui demande qu'on réunisse un certain nombre d'ouvriers, qu'on les instruisse* ; quelque simple que soit une profession, on ne sauroit les y rendre habiles en un jour. ⁷⁸⁴

Les ouvriers sont ainsi de simples outils. Homogénéité de vue avec Fontenelle qualifiant les ouvriers d'automates. Cette description n'est pas neutre. Le discours technique des académiciens ne parvient pas à dissimuler ce double aspect consistant d'une part dans une forme de mépris persistant envers les arts mécaniques et consécutivement ceux qui s'y adonnent, et d'autre part dans une disqualification des acteurs mêmes des ouvrages à pouvoir fonder des décisions en raison afin de s'ériger en seuls juges de la production. Ce sont des jeux de pouvoir qui se jouent ici, bien sûr, et pas seulement une forme d'élitisme.

Il faut mettre en avant un second point dans cette dernière citation. La nouvelle technique proposée par Réaumur est directement permise par l'enquête du Régent entre 1716 et 1718, on l'a vu dans ce chapitre. C'est le fruit d'une description des arts en usage sur le territoire, ainsi que d'un inventaire des ressources naturelles, doublés de l'utilisation de ces données par les savants, afin de faire entrer les arts dans une perspective de progrès. Ainsi, trouver le secret de l'artisan, aller dans les ateliers avec mandat de la plus haute instance de l'Etat, l'étudier dans le sens d'un progrès, puis le mettre sur la place publique en arguant de la liberté de la connaissance, implique que de nouvelles techniques, une nouvelle organisation du travail, de nouvelles normes soient définies. Elles viennent alors imposer une nouvelle marche aux ouvriers de la part des entrepreneurs et des propriétaires. On voit donc très simplement comment, ici, liberté et coercition ne sont pas antinomiques mais coextensives.

La mise en avant de la liberté –d'entreprendre, de connaissance– a donc comme stricte conséquence une coercition des ouvriers par le biais des normes et des procès de production scientifiquement définis. Liberté et coercition ne sont donc pas contradictoires. On verra tout

⁷⁸⁴ *Ibid.* Nous soulignons.

au long du 18^e siècle, puis au 19^e siècle, les deux évoluer ensemble. Le système, pour fonctionner, pour fonctionner mieux, utilise de la liberté, comme la machine à feu décrite par Bélidor utilise du charbon. C'est-à-dire que le système, pour fonctionner mieux, produit de la liberté d'un côté, mais consomme, donc détruit, de la liberté d'un autre. Ceci, c'est en somme une forme de libéralisme.⁷⁸⁵

Ça n'est pas donc pas premièrement, fondamentalement une idéologie, fondée sur ce principe métaphysique d'une liberté pour tous. Ce qui est au fondement, ce sont les intérêts, et l'agencement des intérêts individuels avec l'intérêt collectif. La liberté sous ses diverses formes n'est que l'outil par lequel il fonctionnera mieux, et le mieux possible. Mais cette création de liberté d'un côté (liberté du travail, du commerce...) se paye par une série de coercitions de l'autre, à la fois dans l'effet retour automatique de cette liberté (l'ouvrier n'est plus qu'un exécutant, un *outil*, un *automate* au sein d'une organisation du travail qu'il n'a pas choisi; la concurrence force les vendeurs à pratiquer des prix plus bas), mais aussi parce que l'on doit exercer des contraintes, mesures, contrôles, sur le système pour assurer l'existence même de ces libertés (instruction des ouvriers, nécessité d'avoir des travailleurs nombreux et politiquement désarmés pour éviter toute pression sur le marché du travail,⁷⁸⁶ législation, etc.). En ce sens, le libéralisme peut utiliser les vieilles armatures de la discipline ou du dirigisme pour fonctionner. Il n'y a donc pas forcément d'opposition entre libéralisme et mercantilisme, le premier pouvant utiliser des outils du second.

Au début du 18^e siècle, on n'en est qu'au début, mais toute une génération de *libéraux égalitaires*, selon l'expression de Simone Meyssonier, fait jour. En France, après les premiers travaux de Boisguilbert, influencé par les jansénistes, ce sont les politiciens qui prennent le relais entre 1720 et 1748, tels Maurepas, Etienne de Silhouette et le marquis d'Argenson. La querelle du luxe, le productivisme de Jean-François Melon ou de Castel de Saint Pierre, l'influence de Mandeville sont à replacer dans ce cadre.⁷⁸⁷ Sans nous attarder à analyser ces sujets, il faut simplement noter la progression d'une idée que la société soit un ensemble de processus naturels dont on peut connaître les lois. Selon S. Meyssonier, ces travaux intègrent une idée de justice sociale, que le libéralisme plus tardif du profit rationnel sans contrainte oubliera. C'est sur cette idée de système que nous souhaitons maintenant

⁷⁸⁵ Sur le libéralisme comme art "liberogène" de gouverner, cf. FOUCAULT, *Naissance de la biopolitique*: 62-70.

⁷⁸⁶ "La mécanique a délivré le capital de l'oppression du travail" (BURDET Eugène, *De la misère des classes laborieuses en Angleterre et en France*, 2 vols, Paris, Paulin, 1840 : 2, 36, cité par JARRIGE, "Le travail discipliné: genèse d'un projet technologique": 99.

⁷⁸⁷ Sur tous ces sujets, on reporte à : MEYSSONNIER, *La Balance et l'horloge*: 53-157

poursuivre le débat, en montrant le parallèle (nous ne disons pas : causalité) qui s'établit de ce point de vue entre le domaine économique en voie d'autonomisation et la mécanique.

5.C.c. SYSTEME DE PROCESSUS CHEZ PARENT ET LES PREMIERS LIBERAUX

En effet, le travail mécanique apparaît chez Parent d'abord au sein des machines hydrauliques, comme agent comptable du profit et de l'effet mécanique engendrés par les machines. Mais il ne faut pas oublier que cette machine est le lieu d'une rupture épistémologique, celle consistant à considérer la force-pour-mouvoir, autrement dit la machine en tant qu'elle se meut, et non plus la machine statique (cf. chapitre 2). Nous avons déjà suggéré que la vision parentienne de la machine est en outre innovante en ce qu'elle donne à voir un système (cf. 2.C.d.ii, et 2.D.d). C'est sur ce point que nous revenons ici pour en faire remarquer les similitudes avec la vision libérale telle qu'elle émerge d'abord chez Boisguilbert.

Qu'entendons-nous par *système* ? A notre sens, un système est une somme de processus interagissant : ils se contredisent, s'annulent, s'influencent, se soutiennent. En tant que tel, les effets ne sont pas simplement proportionnels aux causes. Les effets peuvent même rétroagir sur les causes.

En ce sens, la machine hydraulique de Parent est bien un système. Le processus dans sa réalisation, met en jeu l'ensemble de la structure matérielle de la roue, de la source de mouvement, et des poids à élever, pour venir se loger dans les interactions entre ces éléments. De sorte que le mouvement de la machine crée un effet retour sur la force mouvante elle-même. Le bon sens ne suffit pas à en prévoir le résultat, même en termes de relations d'ordre : augmenter ou diminuer, respectivement, l'effort (ou la vitesse) du fluide ne concoure pas forcément à augmenter ou diminuer, respectivement, l'effet. Même dans un cas apparemment aussi simple, où n'intervient qu'une seule source de mouvement sur un dispositif dont toutes les parties sont univoquement liées entre elles, l'effet ne sera pas proportionnel à la cause, comme le dit explicitement Parent. C'est une entité qualitativement différente des machines simples ou en équilibre.

Relier la sortie à l'entrée demande des procédures de calculs inédites et des raffinements qui dépassent le schéma simple cause-effet. Parent ne voit plus la machine à l'équilibre, il la voit comme un processus agissant dans le temps et dans l'espace, et agissant aussi sur elle-même. L'état stationnaire qui survient nécessite l'application du nouveau calcul différentiel, et le dépassement d'une appréhension en termes de destruction de forces, appréhension à laquelle La Hire, par exemple, s'arrête. De manière remarquable et tout à fait

originale, bien que se débattant toujours dans l'absolu de l'équilibre et de la physique des chocs, il parvient à voir la machine comme personne d'autre avant lui. C'est bien un *aigle*, selon l'expression de Sauveur⁷⁸⁸, auquel nous avons affaire ici.

Chez Bélidor (cf. chapitre 3), cette représentation de la machine comme système et siège de processus contradictoires éclate dans toute sa force : pour un esprit baigné de statique, c'est une véritable monstruosité que Bélidor donne à voir. Collisionnant les démarches d'Amontons sur les frottements et de Parent sur la relativité de la vitesse de l'eau sur la pale, il dévoile un lieu où tout, absolument tout, interagit sur tout. Causes, effets, ne sont plus des concepts opérants.

Il faut bien se rendre compte que l'idée d'optimum, issue de la pensée de Parent, est directement liée à cette représentation de la machine comme système de processus contradictoires interagissant. C'est parce que les processus se contredisent qu'il existe un point, et un seul, où la somme de tous les avantages (effets) sera maximale vis-à-vis de toutes les autres sommes d'avantages. Le maximum de la somme des avantages n'est pas réductible à la somme des maximums des avantages, exactement comme le maximum de la somme des intérêts particuliers (intérêt général) est irréductible à la somme des maximums des intérêts particuliers pris séparément. La fonction maximum-somme pour ainsi dire, n'est pas commutative.

C'est précisément en ce point, dans cette idée de système, dans cette non commutativité maximum-somme, dans l'irréductibilité de l'optimum au maximum, que viennent communier le système des intérêts particuliers de la société et le système de la machine en fonctionnement. Dès lors, ce point de correspondance rend commensurable la société et la machine. Non pas la machine déterministe, proportionnelle, simplement prévisible, mais dynamique, soumise à toutes les perturbations. De ce système, Bélidor s'apercevra bien vite de la trop grande dépendance aux effets matériels. La théorie est impuissante à la réduire entièrement. Le réel s'insinue, perturbe là où on ne l'attend pas, réduisant le théoricien à ne pouvoir faire que des cartes et à réintégrer finalement le praticien que Parent avait si ardemment souhaité soumettre à l'empire du calcul totalisant.

Le lecteur voit certainement où l'on veut arriver. Ce système qui interagit avec lui-même, cette somme de processus contradictoires, cette somme d'avantages, d'intérêts particuliers que l'on cherche à harmoniser et régis par des lois naturelles que l'on peut connaître, ce système que l'on peut régler, amener à l'optimum, à l'harmonie, à l'intérêt

⁷⁸⁸ Rapporté dans l'éloge fait par Fontenelle en 1716, cf. chapitre 2 supra.

général, qu'est-ce donc si ce n'est la représentation libérale de la société des agents économiques ? C'est bien cela que l'on voit apparaître chez Boisguilbert, et avant chez Nicole et Domat de manière moins évidente il est vrai, puis ensuite chez une ribambelle d'auteurs jusqu'à Smith. C'est de cette vision de système de processus d'où est directement tirée la notion d'harmonie spontanée, et qui fonde en partie l'économie comme domaine séparé susceptible d'une analyse en termes scientifiques.⁷⁸⁹

C'est cette même conscience d'un siège de processus qui règne dans les deux systèmes. Une mécanique de processus.

Mais on ne saurait simplement faire appel à la mécanique pour expliquer une telle notion. G. Faccarello, pour en expliquer la présence chez Boisguilbert, en réfère à la mécanique cartésienne.⁷⁹⁰ Mais le cartésianisme a contribué à expliquer un peu trop de choses au cours des âges pour que cela reste crédible.⁷⁹¹ Cela dit, il est vrai que Boisguilbert tente une métaphore, celle de comparer les intérêts individuels à des tourbillons⁷⁹². Cela ne reste cependant à notre sens qu'une métaphore, une image destinée à faire comprendre les choses au lecteur, ou une manière de s'appuyer sur l'autorité d'un maître pour mieux faire accepter son propos, plutôt qu'une analogie c'est-à-dire une homologie structurelle entre les principes de deux domaines. Et si on ne peut nier que l'on trouve chez Boisguilbert une forme de cartésianisme dans le fait qu'il pense que la société est le siège de mécanismes cachés qu'il faut découvrir, évoquant ainsi une vision mécaniste du monde appliquée à la société des hommes, il y a loin de cette vision à celle de système de processus où tous les effets et toutes les causes interagissent. Sans doute une recherche sur le principe de la proportionnalité de la cause à l'effet serait-elle nécessaire. Nous ne l'explorons pas ici.

Il nous semble qu'il y a un moyen plus simple d'interprétation. C'est précisément de sortir de la mécanique ou de la philosophie cartésienne pour examiner le monde terre à terre des ingénieurs et de la rationalité d'entrepreneur.

En effet, le point frappant du parallélisme entre système de processus socio-économiques tel que le décrit Boisguilbert, et système de processus mécaniques de Parent et de Bélidor, c'est que dans chaque cas, on utilise d'une part un calcul de coûts/avantages, dont,

⁷⁸⁹ On reporte à l'article de Jean-Claude Perrot, *La main invisible et le Dieu caché*, dans : PERROT, JEAN-CLAUDE, *Une histoire intellectuelle de l'économie politique (XVIIe-XVIIIe siècle)*, Paris, 1992: 333-354

⁷⁹⁰ FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*.

⁷⁹¹ En Italie, on a plutôt tendance à évoquer Galilée quand on veut une explication commode et consensuelle.

⁷⁹² FACCARELLO, *Aux origines de l'économie politique libérale*: 87-88.

d'autre part, les numérateurs sont homogénéisés par un seul indicateur : l'intérêt pour Boisguilbert, l'effet pour Parent et ses successeurs.⁷⁹³

Or, on l'a vu, ce calcul avantage/coûts, on le trouve déjà chez les ingénieurs militaires au début du 17^e siècle (5.B.a). On a vu que la prise en compte des processus dans le temps ou l'espace, succédant à une vision statique des forces défensives contre forces assaillantes, était un problème qui apparaissait également à cette époque dans ce champ de savoir. Et on a suggéré que Parent, ayant servi comme ingénieur militaire, réinvestissait ces procédures, non par habitude mentale, mais parce qu'il était confronté aux mêmes types de problèmes. C'est-à-dire qu'il était confronté à une problématique de calcul d'effet maximal en situation de ressources limitées.

Dans cette optique, la notion de système de processus interagissant entre eux et menant à l'optimum résulte du même modèle, l'utilisation du calcul avantage/coût, homogénéisé à un unique indicateur et dirigé dans le sens de sa plus grande valeur possible. La première forme de technologie que Parent crée, et le comportement des agents économiques de Boisguilbert, ne répondent donc pas à une sorte d'influence de la mécanique sur l'économie, ou de l'économie sur la mécanique, d'autant que les termes de cette éventuelle confrontation sont en fait en construction. Plutôt qu'une filiation de l'une à l'autre et un douteux transfert de concept, c'est une forme de cousinage auquel on invite.

Encore qu'il ne faille pas exactement comprendre que ce sont les ingénieurs qui ont influencé et la notion de système chez Parent, et celle de Boisguilbert puis des lignées de libéraux. Il s'agit de dire que soumis aux mêmes exigences, qui ont trait à l'art de gouverner, Parent et Boisguilbert mettent en œuvre les mêmes solutions. Ceci semble paradoxal puisque Boisguilbert, précisément, propose autre chose que l'art de gouverner de son temps. Il est un opposant à Louis XIV et à son mercantilisme. Mais si les moyens et la conceptualisation qu'il propose sont différents, c'est le même but qui s'exprime dans ce premier avatar de libéralisme : la richesse nationale. L'optimum de l'intérêt général n'est en somme que le nouveau cadre devant permettre ce but, qui s'énonçait plutôt en termes de puissance de l'Etat

⁷⁹³ Pour Boisguilbert, comme le résume J.-C. Perrot, "[...] l'homme laborieux ne suffit pas à l'harmonie productive. Il faut encore ajouter le calcul, l'information, l'intelligence que nulle bonne volonté ne suffit à compenser. En économie non plus, un sot ne saurait être bon. Prévoir les revers inopinés, les maladies par une certaine épargne, est banal ; savoir sacrifier des biens pour préserver le niveau des prix et des revenus souffre déjà plus d'exceptions, c'est pourtant l'exemple que fournissent les Hollandais en régulant le marché des épices. Les calculs de l'agent d'étendent finalement à tous les aspects du travail pour qu'il soit fructueux. Ainsi, les coûts de production, le prix de vente des récoltes et leur volume vont déterminer la surface des friches dans l'exploitation. Bref, il existe une tactique et une stratégie de l'entrepreneur ou de l'ouvrier qui s'apprécient in situ. Les coalitions de la main-d'œuvre, la mise en quarantaine des patrons sont en effet du calcul ; [...]" (PERROT, "Boisguilbert parmi nous": 147-148).

dans la pensée mercantiliste, mais une puissance qui impliquait précisément la richesse du royaume.

Parent, dont on peut penser, surtout en tant qu'ancien ingénieur, qu'il est baigné de mercantilisme et de "raison d'Etat", cherche à rendre le bien public le plus haut qu'il soit. Il se place ce faisant dans une pensée typiquement mercantiliste.⁷⁹⁴

On suggère alors que ce qui est en jeu fondamentalement n'est pas une influence des pratiques d'ingénieur, ni de la mécanique, ni de l'économie : les procédures utilisées ne sont que les avatars d'un calcul avantage/coût *corrélatif d'un art de gouverner* axant toute son action sur la maximisation d'une puissance en situation de ressources limitées. Le calcul avantage/coût ne se suffit pas à lui-même : il n'existe pas comme un universel s'exprimant hors du temps et des situations particulières. Il s'insère dans des situations historiques précises qui le font émerger comme solution à des mises en problème identiques. Mais contrairement

⁷⁹⁴ Très brièvement, rappelons que le mercantilisme n'est pas tant une forme de pensée économique qu'une manière de gouverner le royaume. La pertinence de la notion même de mercantilisme est problématique, en tant qu'elle n'a été énoncée que plus tard par ses opposants (Adam Smith notamment), et très mal définie. Elle englobe donc quantités d'auteurs sur 3 siècles. On peut pourtant, si on s'accommode de quelques approximations, et si on se limite à la France de l'époque qui nous occupe, en trouver des caractéristiques satisfaisantes.

Le mercantilisme, pour le dire vite, s'énonce en termes de puissance, au sein de l'espace concurrentiel européen. Deux circuits sont en jeu, l'intérieur, et l'extérieur. Il s'agit de se faire respecter à l'extérieur, et pour ce faire d'augmenter la richesse à l'intérieur. Sur le circuit extérieur, on va tendre à exporter le plus possible de marchandises à forte valeur et à importer le moins possible, pour attirer à soi le numéraire, et ainsi (pense-t-on alors) appauvrir le pays concurrent. Le mercantilisme pense en effet le commerce extérieur comme un jeu à somme nulle. Le numéraire doit servir à la guerre, puisqu'il est le "nerf de la guerre" comme le disent tous les commentateurs de l'époque. A l'intérieur, la pensée mercantiliste pense qu'il faut assurer la circulation des marchandises et de la monnaie. L'argent thésaurisé ne sert à rien en soi, il ne permet pas de produire quoique ce soit. On a dit que les mercantilistes étaient de vulgaires chrysohédonistes (croyance selon laquelle la richesse consiste dans sa réserve de métal précieux). C'est relativement faux, même si on peut trouver quelques mercantilistes qui le sont. Le numéraire n'est qu'un moyen. Sa présence sur le territoire permet de le rendre disponible pour les levées nécessaires à la guerre. L'or n'est donc pas recherché pour lui-même. Il n'est que le signe de la puissance. En outre, les mercantilistes savent bien que la source ultime de la richesse, c'est l'homme. Plus les hommes sont nombreux, plus nombreux seront les travailleurs, plus nombreuses seront les productions. Dès lors, plus le royaume sera riche, et plus nombreuses seront les exportations. Il faut tendre à créer le plus de valeur possible sur le territoire national. La richesse du prince provient de celle de ses sujets.

La puissance peut alors s'énoncer comme suit : il faut maintenir l'Etat vis-à-vis de l'extérieur, et augmenter l'Etat à l'intérieur. En effet, ça n'est qu'en organisant l'intérieur (par une forme de dirigisme à la Colbert, au moins temporaire) que l'on pourra orienter les choses dans le sens d'une augmentation de la richesse. Deux technologies sont en jeu pour atteindre ces buts, un appareil diplomatique-militaire d'une part, et une bonne police d'autre part. Police au sens d'organisation de la cité, qui inclue l'organisation de la production.

On trouve des indications rapides sur le mercantilisme par exemple dans : FOURQUET, FRANÇOIS, *Richesse et puissance, une généalogie de la valeur*, Paris, La découverte, 1989. Si le livre de Heckcher constitue une référence en matière de mercantilisme, il est cependant très vieilli (1931) et à peu près toutes ses conclusions ont été remises en cause (HECKSCHER, ELI FILIP, *Mercantilism*, 2 vols., London ; New York, Routledge, 1994(1931)). On peut consulter à ce propos DEYON, PIERRE, *Le mercantilisme*, Paris, Flammarion, 1969. Plus restreint, mais concernant notre période : SCHAEFER, THOMAS J. , *The French Council of Commerce, 1700–1715: A Study of Mercantilism after Colbert*, Columbus, Ohio State University Press, 1983. Pour une approche philosophique: FOUCAULT, MICHEL, *Sécurité, territoire, population*. Cours au collège de France. 1977-1978, Paris, Gallimard ; Seuil, 2004: 233-370.

aux pratiques d'ingénieur du 16^e et 17^e siècle, Parent, Boisguilbert et leurs successeurs amènent à penser les systèmes en fonction d'un seul indicateur, effet ou richesse.⁷⁹⁵

5.C.d. REDEFINIR LES NORMES PAR LE SAVOIR POSITIF

Si comme l'exprime J.-C. Perrot, le pari philosophique essentiel des lumières a été de déduire les normes sociales et politiques du savoir positif, il faut bien constater que l'on n'a pas attendu le milieu du 18^e siècle pour le faire. La crise de conscience européenne, d'après l'expression célèbre de Paul Hazard, est un temps de redéfinition des attentes sociales et présente une cohérence qui va au-delà d'une simple préfiguration des Lumières. Et comme le dit S. Meyssonier⁷⁹⁶, l'introduction de la science dans la définition des normes est précisément ce qui permet l'émergence d'une laïcité. Elle n'est donc pas seulement le rejet d'une métaphysique providentielle ni son remplacement par le primat d'une règle de droit. L'utilité collective est déjà pensée comme passant nécessairement par le calcul, voire par la connaissance des lois naturelles.

Le calcul du travail et consécutivement l'émergence d'un concept de travail mécanique doit ainsi être replacé dans ce contexte de redéfinition des normes.

C'est bien de normes sociales dont il est déjà question chez Vauban. Le calcul maximisateur, ainsi, ne s'accommode guère des jours fériés, que Vauban ne prend pas en

⁷⁹⁵ Il conviendrait ici d'examiner ce que devient cette notion dans les débats sur le principe de moindre action, chez Maupertuis par exemple.

Mais une question surgit, c'est la pertinence de considérer l'intérêt comme un indicateur homogène. Il n'est pas toujours simplement réductible au profit chez les successeurs de Boisguilbert. Comme l'écrit Foucault pour la fin du 18^e s. : « La catégorie générale qui va recouvrir et l'échange et l'utilité, c'est bien entendu l'intérêt puisque c'est l'intérêt qui est principe de l'échange et l'intérêt qui est critère d'utilité. La raison gouvernementale, dans sa forme moderne, dans celle qui s'établit au début du XVIII^e siècle, cette raison gouvernementale qui a pour caractéristique fondamentale la recherche de son principe d'autolimitation, est une raison qui fonctionne à l'intérêt. Mais cet intérêt, ce n'est plus bien sûr celui de l'Etat entièrement référé à lui même et qui ne cherche que sa croissance, sa richesse, sa population, sa puissance, comme c'était le cas dans la raison d'Etat. L'intérêt maintenant au principe duquel la raison gouvernementale doit obéir, ce sont des intérêts, c'est un jeu complexe entre les intérêts individuels et collectifs, l'utilité sociale et le profit économique, entre l'équilibre du marché et le régime de la puissance publique, c'est un jeu complexe entre droits fondamentaux et indépendance des gouvernés. Le gouvernement en tout cas le gouvernement dans cette nouvelle raison gouvernementale, c'est quelque chose qui manipule des intérêts.

Plus précisément, on peut dire ceci : c'est que les intérêts, c'est, au fond, ce par quoi le gouvernement peut avoir prise sur toutes ces choses que son t pour lui les individus, les actes, les paroles, les richesses, les ressources, la propriété, les droits, etc.

[...] désormais, le gouvernement n'a plus à intervenir, n'a plus de prise directe sur les choses et sur les gens, il ne peut avoir de prise, il n'est légitimé, fondé en droit et en raison à intervenir que dans la mesure où l'intérêt, les intérêts, les jeux des intérêts rendent tel individu ou telle chose, ou tel bien, ou telle richesse ou tel processus, d'un certain intérêt pour les individus ou pour l'ensemble des individus ou pour les intérêts affrontés de tel individu à l'intérêt de tous, etc. (FOUCAULT, Naissance de la biopolitique: 46-47).

⁷⁹⁶ MEYSSONNIER, *La Balance et l'horloge*: 148

compte sauf les dimanches et encore de mauvaise grâce. C'est encore en termes de normes qu'Amontons s'exprime lorsqu'il calcule le travail des polisseurs de verre : il en déduit une norme de travail utilisable pour le calcul d'anticipation. La norme prend ici l'apparence de la moyenne. Sous cette notion, la spécificité de chacun, dans son adresse particulière, ou sa morphologie, est gommée pour les besoins du calcul. On a ainsi montré que le travail mécanique, c'est ce qui reste quand on a substitué chacun à tous les autres. La possibilité du calcul exige l'identité de chaque homme avec tous les autres dans leurs dispositions physiques.

C'est Daniel Bernoulli qui pousse le plus loin cette idée, puisque pour boucler son modèle théorique, il fait appel aux esprits animaux (cf. chapitre 4). Conçus comme de petits ressorts bandés, ils sont censés être une source de force vive organique, et être en même quantité dans chaque homme quel qu'il soit. Une condition *sine qua non* pour que le calcul soit possible et que la proportionnalité des fatigues et des travaux soit assurée, permettant ainsi la possibilité du calcul d'optimisation du rapport travail/fatigue.

Bélibidor nous fournit encore un exemple (chapitre 3). Par une connaissance accrue de la capacité de production du corps humain, Bélibidor peut définir une quantité de travail devant être réalisée par l'ouvrier, quantité contrôlée par son compte-tour adaptable à toutes les machines mues par des manivelles. La proposition, effectivement réalisée en atelier, est diffusée par l'intermédiaire de l'Architecture Hydraulique. Le but est évidemment de redéfinir les normes de travail dans la société entière, par la libre diffusion de l'information.

On voit que la notion de progrès social de toutes ces normes est pour le moins discutable. Du moins l'aspect humain est absent et le progrès ne doit se comprendre qu'en termes d'augmentation de l'utilité publique.

L'introduction du calcul et des mathématiques, disant ce qu'il faut faire, implique un éloignement de Dieu par le truchement habile des lois naturelles qui viennent se substituer aux lois morales. Habile car l'idée de loi naturelle entretient les normes, dont les normes de travail, dans une forme de naturalité, de légitimité. Un discret déplacement s'opère du divin au naturel. Dieu n'est plus le conservateur des hommes et des choses, ce sont les hommes qui prennent le relais, par le discours de vérité qu'ils prétendent apporter. La laïcité, en ce sens, est la conséquence logique d'un discours de maximisation de l'intérêt et d'une introduction du savoir positif comme discours de vérité.

C'est en ce sens qu'il faut interpréter les discours sur les limites dont nous avons rencontrés de nombreuses occurrences, d'Amontons à Desaguliers : une stratégie rhétorique

permettant d'asseoir les normes sur la nature, et surtout de positionner le savant comme seul capable de la définir.

5.C.e. ARTICULER LA NATURALITE DES LOIS PHYSIQUES ET LA NATURALITE DE L'HOMME : GERER LE TRAVAIL COMME UN PROCESSUS NATUREL

Nous souhaitons mettre en exergue un dernier point, corrélatif de l'idée de système précédemment exposé. En effet le système, dont on a montré la présence à la fois dans la mécanique (au moins chez Parent et Bélidor) et dans la pensée économique (les libéraux, pour le dire vite), conduit à penser la société comme le lieu de processus naturels. Ni bons ni mauvais, il faut désormais partir de la réalité qu'ils manifestent pour les brancher sur un cadre qui les oriente dans un sens choisi. Cette idée est apparue au moins depuis Boisguilbert. Il ne s'agit donc plus de corriger des comportements jugés immoraux ou dangereux pour la société par le biais du code légal disant ce qu'il ne *faut pas* faire, ou d'un système disciplinaire disant ce qu'il *faut* faire. Plus exactement, il s'agit de faire de la loi et de la discipline les instruments d'une autre manière d'appréhender la réalité : non plus en termes moraux, non plus en termes d'intentions, mais uniquement vis-à-vis des effets.

Par exemple, les vices tendent désormais à être appréhendés non plus en termes théologiques et coercitifs, mais en tant que nature humaine. L'homme est cupide, c'est sa nature : plutôt que de s'évertuer à le rendre meilleur, le gouvernement doit utiliser ces vices dans un sens qui puisse profiter à toute la société. Le gouvernement va alors définir un cadre utilisant la loi et la discipline, corrélatif de la libre expression des intérêts particuliers. Le but est de parvenir à une utilité publique bien supérieure à ce qu'on n'aurait jamais pu atteindre par la coercition directe. On reconnaît là la rhétorique de Mandeville, bien sûr. Mais le terrain janséniste ne l'a pas attendue pour avancer l'idée d'une possible harmonie automatique de la cupidité, comme on l'a vu.

De même au cours du 18^e siècle, le gouvernement va de moins en moins appréhender le travail en termes moraux (positifs ou négatifs), et de plus en plus comme un fait de nature. Schématiquement, jusqu'au 16^e siècle, la notion de travail est entièrement teintée de la peccabilité de l'âme humaine. Le travail est la punition infligée par Dieu à l'homme du fait du péché originel. C'est un tourment, mais un tourment nécessaire en ce que son exercice signifie la soumission à la volonté divine. S'y mêlent également des valeurs attribuées à l'antiquité

gréco-romaine⁷⁹⁷ : le travail signe la dépendance de l'homme à ses congénères, il est l'antithèse de l'idéal autarcique de l'homme libre. Le pauvre, alors, c'est celui qui est obligé de travailler, le sans-patrimoine. Les classes favorisées échappent au travail. Elles peuvent cependant se racheter par le devoir d'aumône. En faisant l'aumône, le riche s'abaisse jusque vers le mendiant et ainsi s'humilie par son geste, ce qui (prétendument) lui rappelle qu'il n'est qu'une créature de Dieu.

Les choses commencent à changer à partir de la fin du 16^e siècle. En France, les moralistes du 17^e siècle diffusent une idée méliorative du travail. Ce n'est pas sans lien avec le mercantilisme, qui énonce qu'un Etat a besoin de bras, du maximum de bras, pour produire le maximum de valeurs sur le territoire national, et ainsi se maintenir dans le jeu de concurrence des Etats européens en augmentant sa puissance. Dès lors, être oisif n'est plus seulement un affront fait à Dieu, c'est aller contre l'utilité publique, se déclarer ennemi du corps social. L'oisif (le libertin) est considéré comme un parasite. Même les moines se voient soupçonner d'oisiveté, et s'efforcent de justifier de leurs activités comme concourant à l'utilité publique. C'est le temps du grand renfermement décrit par Michel Foucault, la création des hôpitaux généraux pour les mendiants, les pauvres, les invalides, les libertins, les prostitués, toute une population qui ne travaillent pas ou gaspillent son bien. Au tournant du siècle, la valeur-travail devient définitivement positive : un devoir moral, social et religieux. A l'aube du 18^e siècle, plus personne n'ignore cette positivité : le travail concourt à la richesse nationale, chacun se doit de travailler. Jusqu'à cette période, la population est alors conçue comme une force productive : le nombre fait la richesse.⁷⁹⁸ Il faut la discipliner au travail

Vers le milieu du 18^e siècle, l'émergence de l'économie politique comme champ de savoir autonome commence à influencer la raison gouvernementale. L'économie politique n'interroge pas les pratiques gouvernementales en droit, mais sur leurs effets. Il existe une naturalité, une nature, propre à la pratique du gouvernement. La politique, en somme, c'est une physique. En tant que telle, elle ne doit jamais s'éloigner du jeu de la réalité avec elle-même. Dans cette optique, la population n'est plus un ensemble discret de sujets juridiques : ce sont des flux, des processus naturels qu'il faut gérer en respectant leur naturalité. L'un des

⁷⁹⁷ Il est important de noter qu'il n'existe aucune catégorie conceptuelle ou linguistique qui puisse s'apparenter au concept contemporain de travail dans les mondes occidentaux jusqu'à la Renaissance. Et ce qui peut s'y apparenter alors ne définit nullement la place des hommes au sein de l'espace social (SALIOU, CATHERINE, "Remarques sur le travail dans les mondes grecs et romain. Pour une histoire de l'espace de travail", *Cahiers d'Histoire*, n° 83, 2001, pp 13-25).

⁷⁹⁸ PERROT, *Une histoire intellectuelle de l'économie politique (XVIIe-XVIIIe siècle)*: 145. Montchrestien en 1615 est l'un des premiers à placer la population en amont des richesses, chronologiquement et logiquement : "toutes les théories de la valeur-travail en dérivent ultérieurement".

motifs de base de cette physique économique, c'est bien sûr la recherche de l'intérêt individuel. Mais cette naturalité des processus se place au sein même de la Nature au sens classique du terme, siège également de processus naturels. Autrement dit, les processus naturels de l'homme social baignent dans un milieu physique (lois de la matière), géographique (cours d'eau, routes, ...), climatique, etc. Dès lors le souverain n'agit plus directement par coercition ou contrainte sur le corps des sujets : *“le souverain, ce sera celui qui aura à exercer son pouvoir en ce point d'articulation où la nature, au sens des éléments physiques, vient interférer avec la nature de l'espèce humaine”*⁷⁹⁹

Dans cette idée, c'est le point où nous voulons en venir, D. Bernoulli relève d'un état d'esprit très proche lorsqu'il examine le travail des rameurs dans les navires en 1753 (cf. chapitre 4). En effet, le bateau, et plus précisément la rame, va jouer le rôle physique du point d'articulation entre les éléments naturels et la naturalité humaine. Là, dans ce dispositif artificiel, vient s'agencer la dépense organique de l'homme, et la résistance naturelle de l'eau et de la matière.

La rationalisation sans profit à laquelle Bernoulli s'adonne, est de même type que le calcul de la somme des intérêts individuels : dans les deux cas, un calcul avantage/coût. Mais, et c'est bien son originalité par rapport aux autres auteurs que nous avons étudiés, il assimile le coût, la dépense, à la fatigue. Le coût nécessaire pour produire le travail, c'est la fatigue. Il faut dès lors maximiser ce rapport, ou plutôt l'optimiser : produire plus en se fatiguant moins. C'est exactement la même démarche, comme on l'a vu, qui fondera les raisonnements de Coulomb dans les années 1780.⁸⁰⁰

En prenant ainsi en compte la fatigue, Bernoulli va bien plus loin que Bélidor et tous ceux qui ont observé le travail des organismes avant lui. C'est par la théorie qu'il veut atteindre à cette notion qualitative de fatigue. Il finit par la rendre commensurable, et proportionnelle au travail réalisé.

Dans sa démarche il agit en scientifique de la même manière qu'il aurait agi en économiste gérant les flux de travail. Toujours ce même topo du calcul avantage/coût. Agencer la fin et les moyens, en l'occurrence, agencer le travail humain avec l'effet physique qu'on veut lui faire produire.⁸⁰¹

⁷⁹⁹ FOUCAULT, *Sécurité, territoire, population*: 24

⁸⁰⁰ Sur Coulomb, cf. VATIN, *Le travail, économie et physique*, et GRALL, *Economie de forces et production d'utilités*: 61 sq.

⁸⁰¹ Il faudrait encore ajouter un certain nombre de choses sur les rapports (au double sens d'imprégnations et de parallèles) entre pensée mécanique et économique. Par exemple sur les rapports entre Bélidor et l'esprit productiviste d'auteurs des années 1730 comme Melon. Nous avons cependant assez d'éléments pour conclure.

5.D. CONCLUSION : LE TRAVAIL MECANIQUE COMME CORRELATIF DE L'ART DE GOUVERNER ET DE SES REDEFINITIONS

Le but de ce chapitre, comme on l'a exposé en introduction, était de retrouver le sens de l'émergence du travail mécanique en le remplaçant dans son environnement intellectuel. Nous avons ainsi exploré dans une première partie (5.B) tout ce qui concernait les fonctions de l'académicien : nous avons examiné les liens entre les mesures du travail et la pratique des ingénieurs, notamment des ingénieurs militaires, exposé le sens d'une telle mesure dans le cadre de la fonction d'expert de l'académicien, développé comment l'académicien se voit impliqué dans le monde de la production en montrant de quelle manière l'Etat (à travers ses agents tel Bignon) s'est imposé comme interlocuteur privilégié dans les différents projets de description des arts, et comment parmi ces derniers, ceux de 1675 et 1693 ne pouvaient pas être considérés comme des causes directes dans l'émergence du concept.

Dans une seconde partie (5.C), nous avons encore élargi le cadre pour saisir plus exactement, plus finement la généalogie du concept. Nous y avons rencontré de plein fouet le jansénisme, la naissance du libéralisme et l'idée de système de processus rétroagissants, mais aussi le mercantilisme et plus généralement la maximisation de puissance et du profit. Les concepts d'intérêt, de norme, de calcul avantage/coût, et de système ont été examinés.

Que retenir de tout cela ? Deux choses principalement. Deux réductions.

D'une part que le concept de travail mécanique peut se réduire aux avatars successifs d'un thème particulier appliqué au domaine de la mécanique. Ce thème, c'est celui du calcul avantage/coût, donc en somme une rationalité d'entrepreneur. Ce type de rationalité apparaît à chaque fois que l'on est en présence d'une mise en problème impliquant une maximisation de l'effet à partir de ressources limitées.

D'autre part une seconde réduction, basée sur le fait que le calcul avantage/coût n'est pas un universel, si l'on peut dire, il n'est pas un principe existant hors de l'histoire. Il est la conséquence, logique, de situations similairement agencées. Ces situations portent un nom générique : art de gouverner. Par ce terme, nous n'entendons pas les seules pratiques effectives de l'art de gouverner mises en œuvre par le gouvernement, mais les définitions de ce que doit ou devrait être cet art de la pratique gouvernementale.

Que ce soit le mercantilisme, ou le libéralisme, effectifs ou déclaratifs, et tous les degrés de tradition libérale teintés de dirigisme que la France connaît au 17^e et 18^e siècle, le

but est toujours le même, bien qu'assuré différemment : faire advenir une plus grande richesse, et ce évidemment dans un contexte où les ressources ne sont pas infinies, tout en assurant la cohésion sociale. Ce n'est donc pas fondamentalement le calcul avantage/coût qui est premier, mais les différents avatars de l'art de gouverner qui *impliquent* dans leur définition que soit utilisé un calcul de ce type.⁸⁰²

Dans ce contexte et en dernière instance, *l'émergence du concept de travail mécanique est une réponse des savants, locale, appliquée à la production, pour assurer l'effectivité d'un art de gouverner mettant la richesse/puissance et la cohésion sociale au centre de ses exigences*. On a vu tous les liens que ce concept entretenait avec le passé, et pourquoi la configuration de l'Académie en 1699 est apparu favorable à cette émergence.

Il faut aussi remarquer les passages simultanés qui s'opèrent dans différents domaines où pointe sous le calcul avantage/coût la définition d'un art de gouverner. Le lecteur attentif n'aura pas manqué d'observer d'abord le passage d'une logique de duel ou de destruction de force à une logique de processus entre la conception mercantiliste et les premières formes de libéralisme. Ce même passage est en jeu dans la science des machines en constitution, des machines simples à l'équilibre ou en quasi-équilibre, aux machines en mouvement. Mais on observe aussi la même chose dans la science de la manœuvre en constitution à partir de la fin des années 1680 avec des protagonistes tels que le chevalier Renau d'Elissagaray, Jean Bernoulli, mais aussi Parent⁸⁰³, dont l'utilité pour le pouvoir royal est évidente. Encore le même principe dans la conceptualisation de la ville au 18^e siècle, non plus une vision statique assurant sur l'instant la perfection de la fonction, mais un siège de processus (le vol, les maladies, les circulations...) ouvrant sur un avenir incertain qu'il faut donc connaître et optimiser⁸⁰⁴. Et c'est enfin la même logique que l'on a vue à l'œuvre chez les ingénieurs de fortification dans une stratégie de défense et d'augmentation de la puissance du royaume, mais cette fois plus tôt, passant également d'une vision statique à une vision en termes de processus (cf. *supra* dans ce chapitre). Ainsi, c'est au sein de la dislocation de la vision statique du monde que le travail mécanique vient s'agencer.

Nous ne disons pas que cette émergence du concept de travail mécanique était nécessaire. Mais si au final, nous n'avons pas expliqué pourquoi, ultimement, le concept de

⁸⁰² Ainsi en est-il également du calcul des délits et des peines chez Beccaria plus tard au 18^e siècle : s'il prend la forme d'un calcul avantage/coût, ça n'est pas à mettre au compte d'une idée universelle qui se projetera hors des cadres et hors du temps. Ce calcul (problématique en ce qu'il faudrait, pour le rendre scientifique, lui donner une mesure, et qui plus est une mesure homogénéisant les deux numérateurs), est liée en première instance, à une certaine idée de la politique, ou plutôt de cette physique qu'on appelle alors politique.

⁸⁰³ SERIS, *Machine et communication*: 96 sq. Le livre sur la manœuvre du chevalier Renau est de 1689.

⁸⁰⁴ Sur la ville comme siège de processus à sécuriser, cf. FOUCAULT, *Sécurité, territoire, population*: 21 sq.

travail mécanique apparaît, ici à cet endroit, en ce temps là, nous l'avons cependant rendu intelligible : il était possible qu'il apparaisse. Voilà qui nous suffit, et cette démarche répond, nous semble-t-il, à plus de questions qu'une histoire qui serait restée dans l'intimité des textes où cette émergence apparaît.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES : DE L'INTÉRÊT DU CALCUL AVANTAGE/CÔÛT DANS LA GESTION DU PARC HUMAIN

“[...] la bêtise consiste à vouloir conclure”
Gustave Flaubert⁸⁰⁵

On ne conclut jamais un sujet de recherche. Surtout un sujet dont les dimensions sont aussi multiples que celui qui nous a occupés tout au long des pages précédentes. S'il faut pourtant donner une conclusion, il nous semble pouvoir articuler l'histoire de l'émergence du concept de travail mécanique dans le premier 18^e siècle autour de la question du calcul avantage/coût. Finalement, ses différentes occurrences s'inscrivent toutes dans cette question : comment faire plus avec moins ?

Mais il y a deux mouvements (liés) dans ces avatars du rapport avantage/coût, où “coût” est à entendre dans un sens large et pas forcément ou uniquement monétaire :

- d'une part, faire de l'avantage et du coût des mesures commensurables, par une traduction dans l'ordre de la mécanique de notions de l'économie et de l'organique
- d'autre part, différencier mécaniquement l'avantage et le coût en les reliant terme à terme à l'entrée et à la sortie.

Pour que finalement, l'entrée soit ce que l'on paye, et la sortie le produit associé, le gain. Reprenons brièvement les occurrences sous le prisme de cette double réduction.

Chez Amontons et Parent, clairement, nous assistons en deux temps à une traduction de préoccupations économiques dans l'ordre de la mécanique. Chez Amontons, l'avantage, certes, est d'abord mécanique : c'est la *puissance continue* qui le mesure. Le coût, lui, est entièrement économique, reflétant par là, la très grande proximité d'Amontons avec les milieux d'ingénieurs et d'entrepreneurs. C'est ainsi que son calcul du travail des machines,

⁸⁰⁵ Lettre du 4 septembre 1850 à Louis Bouilhet. FLAUBERT, GUSTAVE, *Correspondance* (1973), Paris, Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1980 : I, 679-680.

des hommes et des chevaux, se double d'un calcul économique comparé de l'entretien des forces productives. Ce qu'il met en rapport alors, c'est un avantage mécanique sur une dépense monétaire. Par un calcul de substitution appliqué à son moulin à feu (mais considérant uniquement les coûts de maintien, et non de création, des agents producteurs), il peut en tirer la condition de rentabilité de son dispositif : qu'il dépense moins de 79 livres par jour de fonctionnement. Chez Amontons, l'entrée et la sortie ne sont pas clairement distinguées.

Parent finit d'opérer cette traduction en transcrivant le coût en termes mécaniques : ce coût, c'est la disponibilité, l'effet total à disposition, mais dont la réification dans le monde de la production, de l'utile, ne peut être que partielle, du fait même de l'effet que l'on veut obtenir, c'est à dire le mouvement des poids contre la pesanteur dans un dispositif mu par l'eau. La mise en acte utile de la potentialité est limitée par cette mise en acte même. L'interaction de la source de mouvement et de l'objet mu entraîne un processus dont l'effet n'est pas proportionnel à la cause.

Dès lors, Parent en 1704 peut mettre en rapport la sortie, ou disons plutôt l'effet appliqué à l'entrée, avec la disponibilité. Ce n'est qu'en 1714 et la prise en considération de l'effet des machines mues par les animaux que ce rapport prend l'allure d'un rendement sortie/entrée.

Cette traduction, bien sûr, ne fait pas disparaître la dimension économique. Elle a l'avantage de pouvoir faire coïncider, par une mise en parallèle, l'ordre mécanique et l'ordre économique. L'optimum d'effet mécanique signera en même temps le plus grand profit possible, en faisant correspondre les deux, terme à terme. Le profit économique est désormais fondé sur les lois naturelles, en acquiert la légitimité, et permet d'assurer de surcroît l'équité des échanges entre vendeurs et consommateurs, en déterminant les formes et les quantités nécessaires et suffisantes de matière dans la réalisation d'un effet donné.

En dernière instance donc, le calcul mécanique assure la pérennité de la cohésion sociale en faisant parvenir le profit particulier dans l'espace de justice des échanges entre vendeurs et consommateurs, profit réglé sur les lois naturelles de la matière. Intérêt particulier et intérêt général coïncident alors dans l'ordre unifiant de la mécanique et de son calcul totalisant. Éblouissante démonstration de la foi accordée à la puissance démonstrative de la science.

Une telle traduction permet d'exercer sur les données des agents producteurs en mouvement une rationalisation sans profit, dont on a l'assurance qu'elle est l'exact reflet de la

perfection des échanges sur le marché. Ainsi, dès cette époque, le travail a les attributs de ce que Navier qualifiera dans une expression restée célèbre de *monnaie mécanique*.⁸⁰⁶

Mais Pitot est l'illustration que cette conceptualisation en termes d'entrée/sortie qui advient chez Parent, certes de manière imparfaite, brouillonne même, n'est pas évidente. Chez lui, en 1725, l'*effet naturel* de Parent, la disponibilité structurellement inatteignable dans le cas des machines hydrauliques, disparaît. Il sacrifie la riche impureté du concept naissant sur l'autel de la clarté et de la doxa de la quantité de mouvement. C'est alors une quantité de mouvement défigurée qui s'offre à nos yeux, mais dont le caractère conservatif provoque un attrait irréprouvable sur les esprits malmenés par la querelle des forces vives.

Bélibidor, lui, pousse à l'ultime la traduction que peut faire une physique des chocs d'inspiration cartésienne, essoufflée, en reprenant et amplifiant les fonctions de la quantité de mouvement comme siège de la conservation. Les mondes d'Amontons et de Parent fusionnent alors dans un système puissant, mais inégal, où la force-pour-mouvoir réarrange sa définition comme combinaison, à résultante complexe, de ses deux acceptions mises en œuvre par lesdits précédents académiciens, certes pas sous le joug d'une théorie mère, mais dans la perspective unifiante du juste calcul machinique.

Quantité de mouvement ? Plutôt puissance, ou travail en acte, qui ne dit pas son nom. Bélibidor parvient à faire du produit PV le liant intégral de la machine, depuis la source de force mouvante jusqu'à la quantité de blé produite. Mais c'est au prix d'une véritable monstruosité pour un esprit immergé dans la statique : c'est un système, où tout interagit avec tout. Incapable de réduire la machine à l'empire du calcul totalisant, ou plutôt conscient des limites de la théorie, Bélibidor préfère l'approximation de la matérialité à la chimère d'un calcul inefficace. Il parvient alors, au moins une fois, dans le cas du moulin à blé, à faire du produit PV le liant intégral de la machine. Alors, la transmission de l'entrée à la sortie est actée, pour faire se rejoindre dans une seule entité opératoire et calculable des formes aussi différentes que la peine des hommes, l'effort du vent, le frottement des rouages, et une quantité de blé. Utilité et pertes forment les composantes de l'effet total. PV contient en elle le monde, le monde potentiel et le monde en actes. Elle met en rapport la potentialité de la nature, de l'homme, avec la transformation de son monde dans une direction choisie. De l'entrée à la sortie, advient la transmission d'une entité, PV, cette quantité qui se conserve par delà les

⁸⁰⁶ "Etablir une sorte de monnaie mécanique, si l'on peut s'exprimer ainsi, avec laquelle on puisse estimer les quantités de travail employées pour effectuer toute espèce de fabrication" Navier cité par : VATIN, *Le travail, économie et physique*: 60.

formes. C'est ainsi que peut se former dans le creuset de la physique mathématique fécondée de rationalité d'entrepreneur, la mise en rapport des lois naturelles et des choix humains.

Mais dans le même temps, ce formidable outil offre toutes les possibilités d'une coercition, par le contrôle que permet sa dimension calculatoire. Non une coercition disciplinaire s'appliquant par la force physique sur le corps des ouvriers, mais par une mise en rapport de leur salaire avec la quantité de travail mécanique qu'ils auront produite en un temps donné. Un salaire dont la définition, bien entendue, reste à la discrétion de l'entrepreneur. Par la connaissance de ce qu'un homme peut faire, par la méthode scientifique empiro-calculatoire de détermination de la puissance humaine, la rationalité d'entrepreneur trouve là le moyen efficace de contrôler la production. Le compte-tour diffusé par Bélidor dans son *Architecture Hydraulique*,⁸⁰⁷ testé et approuvé par les autorités compétentes, en est l'illustration saisissante. Autrement dit, l'entrepreneur n'a plus besoin d'exercer une coercition sur les corps physiques, il peut manipuler des intérêts monétaires, ceux de l'ouvrier. Le calcul mécanique quitte l'espace de justice.

Par cette traduction finalisée et la mise en rapport ultime de l'entrée et de la sortie, on aura en entrée ce que l'on dépense, qu'on le paye ou non, et en sortie ce qu'on produit.

Peut-on aller plus loin encore ? Peut-on rendre plus efficiente cette traduction ? Peut-on la faire coller plus précisément avec la réalité mécanique, économique, organique ? Oui. D'abord par un changement de paradigme dont Desaguliers est la monstration valeureuse. Celle d'un homme au crépuscule de sa vie avouant humblement dans une œuvre posthume, qu'il retardât de dix ans précisément pour tenter de résoudre le problème, qu'il n'y avait pas de contradiction interne entre la quantité de mouvement d'inspiration cartésienne et la force vive leibnizienne, amené à cette conclusion salvatrice par la considération des changements de forme du mouvement où la force et l'effet semblaient se comporter comme un phénomène de stock-flux.

Advient alors Daniel Bernoulli, génétiquement leibnizien par son père. Rappelons la nature des rapports avantage/coût précédents : mécanique sur économique avec Amontons, et mécanique sur mécanique de Parent à Bélidor avec bijection de l'ordre du mécanique dans l'économique. Bernoulli rajoute un troisième niveau de profondeur.

Il met le *fait biologique* au centre de la conceptualisation du travail, par l'intermédiaire de la fatigue et de sa modélisation du mouvement des muscles comme produit de l'activité des esprits animaux conçus comme de petits ressorts bandés. Esprits animaux qui signent à la fois,

⁸⁰⁷ Cf. chapitre 3.

en plein, le mouvement car leur débandage provoque la libération d'une force vive jusqu'alors potentielle, et, en creux, la fatigue humaine conceptualisée comme le manque, précisément, de force vive. Il en reste, vaguement certes, quelque chose aujourd'hui quand on parle de tonus musculaire.

Dès lors, dans une épistémologie partagée par d'autres, l'homme n'est pas conçu comme une individualité souffrante, humaine, ou s'il l'est ce ne peut être qu'en seconde analyse, comme une seconde couche. Il est d'abord conceptualisé comme membre d'une population qu'il faut gérer. Un ensemble de processus naturels. Naturels en ce que leur description peut s'exercer par les mêmes méthodes que les éléments naturels. Un humain, une machine, une ville, s'ils sont qualitativement différents, peuvent être quantitativement analysés avec les mêmes outils, dont le point nodal est le calcul avantage/coût, et réduit à un même objet de pensée : le processus.

Avec Bernoulli, et mieux qu'avec quiconque avant lui, vient s'articuler dans l'interface du travail mécanique, la naturalité des lois naturelles, et la nature de l'homme.

Ce n'est pas tout. Certes, vouloir tout réduire au calcul avantage/coût présente un caractère hautement heuristique. Dans ce cadre d'ailleurs, on perçoit immédiatement toute la parenté qu'entretiennent les antécédents que nous avons évoqués avec le concept de travail mécanique tel qu'il se précipite dans la physique théorique au 19^e siècle, dans une magistrale réinterprétation économique de la mécanique dont François Vatin a décrit toute l'originalité.

Mais les ingénieurs du 19^e siècle, auquel on peut adjoindre Coulomb, ne sont au final que les derniers avatars d'une rationalité d'entrepreneur appliqués à la machine en mouvement, qui prend sa source bien avant. Avant Amontons même on a montré qu'elle est déjà présente chez les ingénieurs militaires à l'aube du 17^e siècle. Mais Amontons est l'un des premiers, peut-être le premier, qui applique cette vision à la machine productive. Toute la fécondité de la notion à partir de là, proviendra de la réduction des numérateurs à une même mesure, simultanée d'une différenciation entre entrée et sortie. Une idée qui implique alors de ne plus voir de simples équivalences entre termes d'une application, mais une transmission d'une extrémité à une autre : et bientôt, une transformation. Une transformation déjà là, en creux, chez Amontons déjà, qui conçoit bien sans pouvoir le formaliser, que la force se consume dans un effet productif.

Mais ce n'est pas tout, comme on vient de le dire. Car derrière ce calcul, derrière cette figure du processus, se cache autre chose. L'émergence de l'État moderne. Comme nous

avons eu l'occasion de l'exposer dans la conclusion du chapitre 5 (forme de conclusion préparatoire de cette étude), le calcul avantage/coût n'est pas un universel, une forme existant par delà le temps et imposant son monde on ne sait comment, par un "air du temps" quelconque. Le calcul avantage/coût est en fait consubstantiel d'une certaine définition de l'Etat dont le problème est l'augmentation de la puissance ou de la richesse dans un monde aux ressources limitées, ce qui implique une rationalité du type que l'on vient de décrire.

Cette définition, elle s'exprime bien sûr dans la Raison d'État, qui fit scandale au 16^e siècle. Sans développer outre mesure, observons qu'elle a partie liée avec le mercantilisme, cette pensée qui est bien plus un art de gouverner qu'une doctrine économique. Le but : maintenir la puissance du royaume dans le jeu de concurrence européen. Deux moyens : l'appareil diplomatico-militaire, et la police intérieure. Grosso modo, dans la menace permanente de voir le rapport des forces rompues et le royaume sombrer dans la misère et l'impuissance, il faut se donner les moyens de maintenir l'État en état, et d'organiser son fonctionnement de sorte à s'assurer d'une puissance dont on conçoit de plus en plus qu'elle ne puisse que croître sous l'effet de la concurrence. Enfermé dans deux circuits, l'international, et le national, l'État doit trouver le moyen de produire le plus de valeur à l'intérieur, afin de l'exporter et attirer à lui le numéraire de l'étranger par une balance commerciale positive. A l'international, c'est la vision d'un jeu à somme nulle qui domine les actions du gouvernement jusqu'au début du 18^e siècle. Les forces européennes s'équilibrent, se détruisent, se balancent. Bon an, mal an, l'équilibre règne. On conçoit aussi que l'Empire, qui avait été le rêve de tous les souverains d'Europe jusque dans un passé relativement proche, n'advient pas. Une fois l'Empire, tout comme l'Église, démantelés de leurs perspectives unifiantes, ne reste plus que les États, dont l'équilibre de chacun avec tous les autres s'impose comme condition de cohésion sociale.

Montesquieu, dans les années 1720, émet alors l'idée que le commerce international ne soit pas un jeu à somme nulle : les rapports des États entre eux n'est pas à comprendre sous le schème de l'équilibre. Dans un monde en connexion d'intérêts, assurés par le commerce, la ruine de l'un abaissera la puissance des autres. L'augmentation du commerce, au contraire, bénéficiera aux deux parties et créera de la richesse. Avant, à l'entre-deux siècles, tandis qu'Amontons et Parent créent leurs concepts, Boisguilbert, influencé par les jansénistes, émet une idée similaire : que le rapport entre intérêts particuliers, un vendeur et un acheteur par exemple, puisse profiter aux deux et créer les conditions d'une plus grande création de richesse. Corollairement, il envisage que la société d'intérêts particuliers des hommes puisse s'harmoniser dans l'optimum d'un intérêt général, pour peu que l'on connaisse les lois de ce

que l'on commence alors à comprendre, précisément, comme une somme de processus à gérer et à optimiser. Toujours le même but donc : la maximisation, mais dont la traduction dans la couleur du processus s'appelle optimisation.

Autrement dit, mercantilisme ou libéralisme, c'est toujours la puissance/richeesse qu'il s'agit de faire parvenir au plus haut point en maximisant, puis en optimisant. Le calcul avantage/coût n'est donc que l'émanation d'une politique de croissance dans un monde aux ressources limitées. Croissance de la puissance, croissance de la richesse. Qu'on excuse le caractère schématique de tout cela. Ceci nous permet simplement d'en arriver au point suivant.

Ce point, c'est qu'il faut replacer le travail mécanique comme l'un des moyens, parmi d'autres, de rendre effective cette croissance de puissance. Avec Amontons et Parent, elle est en même temps le moyen d'une part de produire plus de valeur d'une part, et d'autre part d'assurer la cohésion sociale en définissant l'espace de justice du profit par les lois naturelles. Avec Bernoulli, finalement, c'est l'optimisation d'une population conçue comme somme de processus qui est recherchée, autrement dit l'introduction du fait biologique comme condition d'une plus grande efficacité des décisions gouvernementales dans son objectif séculaire de croissance et de maintien de l'ordre social. Cet ordre n'est plus garanti, comme auparavant, par la loi ou la discipline uniquement, mais par des définitions du cadre dans lequel on place la population, afin de contenir et annuler les effets centrifuges. C'est que la notion même de processus implique une idée d'insécurité dans la complexité qu'il exhibe. L'optimum est donc un mécanisme, le paradigme des mécanismes de sécurité par lequel perdurera l'ordre. Cette dimension sécuritaire des processus, Foucault l'a déjà décrite.

Dès lors, nous pouvons replacer l'émergence du travail mécanique dans l'histoire humaine et dans un procès de civilisation. Ce n'est pas le moindre des intérêts pour ce concept, aujourd'hui un peu déconsidéré, et que nos contemporains ont réduit à n'être que le subordonné de l'énergie, vers lequel tous les regards se tournent.

A vrai dire, souvent, on ne le comprend pas bien. A quoi sert-il ? En a-t-on vraiment besoin pour la pertinence de la mécanique classique ? Les lycéens ont souvent du mal à en saisir la signification. Au terme de cette enquête, et c'est là la dimension épistémologique de la chose, au-delà de la dimension historique dans laquelle nous sommes relativement limité, apparaît l'épaisseur conceptuelle qui a fait la force et la légitimité du concept quand il fut introduit dans la physique théorique au 19^e siècle. La légitimité d'un concept, en effet, réside

dans sa fécondité, évaluée à l'aune des problèmes qu'il permet de résoudre, et de l'heuristique qu'il permet. Un concept n'est reçu comme tel, il n'est admis dans sa nouveauté et dans son originalité, que par le consensus des acteurs sur sa capacité à résoudre des problèmes, et si possible, le plus de problèmes possible. Dans le cas qui nous occupe, pour être admis comme concept pertinent dans la description des phénomènes naturels et du mouvement, le travail mécanique devait coller à une certaine vision de la nature. Autrement dit, il fallait, pour que le concept advienne dans la physique théorique, que la nature soit conçue comme une machine, une machine productive, une entité laborieuse, sur laquelle le travail puisse exercer sa puissance explicative qui faisait sa force dans d'autres domaines. Dès lors, le travail mécanique n'est plus dérivé d'autres lois du mouvement, ou limité à la sphère des applications pratiques, il devient un concept central pour décrire dans leur "essence" les phénomènes naturels assimilés à des processus de travail. Cela suppose donc une antériorité de la conception de la nature sur la description des lois de cette nature. Le regard, ainsi, est orienté ; et il l'est par le contexte culturel, au sens large.

Dans ce contexte, le travail n'est pas une métaphore. Il revêt un sens très concret que l'on peut retracer depuis le crépuscule du Grand Siècle. Ce concept, c'est l'agent comptable de la transformation de la force en effet, c'est la signature du changement de forme. C'est ce qui permet de transformer une intensité en un effet. Le travail, c'est ce qui transforme, et ce qui se transforme. Dans cette dialectique permanente entre intérieur et extérieur, et entre entrée et sortie, il permet de dire ce qui est possible, combien, et à quel point. C'est l'un des concepts les plus en phase avec les exigences socio-économiques, que l'on ait créé dans l'histoire de la physique. L'un de ceux qui disent le plus quant à l'aventure humaine de transformation du monde qui anime l'homme dans les États modernes, pour le meilleur ou pour le pire.

Car au final, c'est bien cela qu'il faut souligner, bien que ces considérations dépassent largement le cadre initial. Le travail mécanique est un élément, modeste peut-être, mais cohérent vis-à-vis du procès de civilisation constitué par l'émergence des États modernes après la dislocation des structures féodales et la mise à disposition consécutive de l'humain mettant en péril l'ordre et la hiérarchie sociale.

Il n'est pas le lieu de rappeler ici en détail ces bouleversements bien connus que sont la découverte des Amériques, l'afflux de métal, les bouleversements économiques qui s'ensuivirent et provoquèrent la dislocation des structures féodales dès lors inadaptées. Non plus que la Réforme et la Contre-Réforme, l'invention de l'imprimerie, de la poudre à canon qui, chacun à leur manière, entraînaient la chute des deux grands archétypes de souveraineté

historico-religieuse promettant l'achèvement des temps dans l'unité et le salut : l'Église, et l'Empire. La question désormais, les questions, étaient de savoir comment se conduire dans un monde où les cadres s'étaient disloqués, conduite personnelle, religieuse, sociale. Quels sont les nouveaux buts, quel est le sens ? La progressive émergence des États, et de la Raison d'État, désenchantés des anciens mirages, est la solution la plus palpable proposée au problème du sens. N'existant d'abord que pour lui-même, se faisant le but de lui-même, l'État s'est proposé d'organiser la cohésion humaine et l'ordre social par la hiérarchie, grâce à la dérivation des énergies de la multitude concourant alors à son propre maintien dans cet ordre. Toute l'histoire depuis lors n'est que le jeu des renégociations perpétuelles de l'espace de cohésion. Le travail mécanique n'est qu'un des éléments de cet agencement.

Ainsi, l'expression de "parc humain" mis en exergue dans le titre et qui n'aura pas manqué de choquer certains lecteurs, est en fait utilisée ici de manière tout à fait dépassionnée. Elle est à replacer dans la question qui anime la constitution des États modernes jusqu'à aujourd'hui : comment maintenir l'ordre social ?

Voilà qui nous entraîne bien loin, trop loin sans doute, d'autant que nous avons déjà énormément de pistes à explorer sur le sujet qui nous occupe directement, l'émergence du concept de travail mécanique au premier 18^e siècle.

Il est ainsi absolument indispensable de développer une histoire européenne comparée mettant en scène l'Angleterre et l'Allemagne. Leibniz présente de trop fortes similitudes avec les pensées que nous avons exposées pour que l'on puisse se permettre de faire l'impasse sur l'environnement allemand des 17^e et 18^e siècles. L'Angleterre apparaît de manière encore plus évidente, notamment par l'existence d'une structure académique royale, bien que sa définition et son fonctionnement soient différents de l'Académie Royale des Sciences de Paris.

Il nous reste également beaucoup de travail quant à l'approfondissement des thèmes économiques dans leur rapport avec la pensée économique au début du 18^e siècle. Des personnages comme Melon, pour n'en citer qu'un, nous semblent très pertinents pour une mise en relation avec Bélidor.

Cela ne suffit pas. Une fois compris dans les grandes lignes comment s'agence ce concept à partir de la fin du 17^e siècle, et dans le premier 18^e siècle, on peut s'attaquer au continent de l'Encyclopédie. Comment le concept y est-il repris ? Permet-elle sa diffusion ? Amontons, Parent, Bélidor, sont-ils compris ? Disqualifiés ? Comment se réorganisent ses liens avec le travail socio-économique ? Que deviennent les topos du calcul avantage/coût et

du processus dans ces pages ? C'est un monde en soi, très différent de celui de l'entre-deux siècles qui nous a beaucoup mobilisé dans cette étude.

Et qu'en est-il d'Euler ? On sait qu'en ce qui concerne les rapports entre théorie et pratique, il n'est pas le plus inintéressant.

Mais il existe encore bien d'autres pistes en ce qui concerne la France de notre période. Nous ne sommes qu'au début de la recherche. Parmi celles que nous avons déjà entamées, citons la recherche biographique sur Amontons. Si elle présente déjà des éléments très intéressants, elle ne pourra révéler toute sa potentialité qu'une fois menée à terme. Nous avons déjà entrevu tous les bénéfices que nous pouvions en tirer : c'est cette recherche qui nous a permis, par exemple, de déterminer l'origine des mesures du travail des polisseurs de verre utilisées comme matériau principal dans la création de son concept de puissance continue : elle réside dans ses activités d'ingénieur, plus précisément dans la machine automatique à polir les verres qu'il construit à la même époque. On voit alors très simplement comment une rationalité d'ingénieur et d'entrepreneur (Amontons est partie prenante dans les bénéfices de la machine) influe sur la création d'un concept dans la physique théorique. Il faut poursuivre la recherche, déterminer plus précisément la vie de ses amis, retrouver ses contrats d'engagement dans les études notariales, savoir quels problèmes l'ont occupé, pour parvenir à recréer le corps du concept, qui participe aussi d'une histoire sociale. La même tâche est nécessaire pour Parent, ce personnage fascinant par sa violence mêlée d'une permanente volonté de contrôle, et sur lequel on ne sait en définitive presque rien. Il fit ainsi deux campagnes avec le marquis d'Aligre. Mais qui est ce personnage ? Comment l'a-t-il connu ? Quelles furent précisément ses activités en tant qu'ingénieur militaire ? On sait qu'il fut professeur de mathématiques, donnant des cours, dont certains étaient publics. À qui, dans quel but ? Il semble avoir une grande connaissance des moulins à vent et à eau des environs de Paris, qu'il dit avoir visités. Dans quel cadre a-t-il effectué ces visites ? Il dit aussi avoir construit une pompe au Plessis Belleville : peut-on retrouver en retrouver des traces ? A-t-il eu en fait des fonctions d'ingénieur ? Il faudra répondre à ces questions, parmi d'autres. Cela demande de la patience, du temps et de l'humilité, pour finir par maîtriser un corpus, les archives manuscrites, qui sont un monde en soi.

Voilà quelques-unes des pistes qu'il nous faudra poursuivre, et pour lesquelles, on le voit encore une fois, les notions de travail et de fatigue ne seront pas de pures idées.

ANNEXES DE L'INTRODUCTION

Annexe 01 RAPPEL HISTORIQUE DE L'INTEGRATION DU CONCEPT DE TRAVAIL MECANIQUE DANS LA MECANIQUE THEORIQUE AU 19^E SIECLE.

01.a. QU'EST-CE QUE LE TRAVAIL MECANIQUE ?

Définissons¹ tout d'abord ce que l'on entend par travail mécanique. Tel qu'on l'inculque généralement dans l'enseignement supérieur, il ne semble pas être autre chose qu'une formule désignant le produit d'une force par une distance. Ainsi le travail qu'exerce la pesanteur sur un objet qui tombe en chute libre, ce n'est que le poids P multiplié par la distance qu'il traverse en chutant, $W = P.H$ (Voir Figure 52).

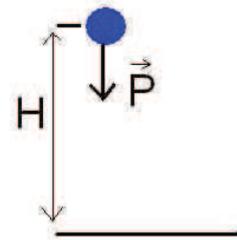


Figure 52 : Objet de poids P tombant d'une hauteur H

Si la direction de la force et la direction de l'objet sont différentes, alors il suffit de multiplier la force par la distance entre le point d'arrivée et le point de départ, et par le cosinus de l'angle entre ces deux directions. Il s'agit donc simplement du produit scalaire $\vec{F} \cdot \vec{x}$

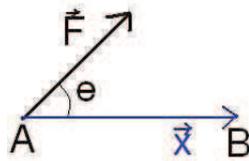


Figure 53 : Force dont le point d'application se déplace suivant le segment AB.

Dans le cas général, si la force est susceptible de varier, ce qui n'est pas le cas de la pesanteur, il suffit de faire appel au calcul intégral, et alors si un point de masse m subit un déplacement élémentaire $d\vec{r}$ sous l'effet d'une force \vec{F} , cette force effectue un travail élémentaire valant par définition: $W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$. Si cette masse m est

déplacée d'un point A à un point B, le travail total est simplement l'intégrale de cette

expression, soit : $W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$.

Ceci étant bien entendu, lorsqu'on cherche à déterminer la signification physique d'un tel concept, les choses deviennent bien plus floues. Les manuels ne nous apprennent pour ainsi dire rien. Souvent, on n'observe simplement qu'une définition telle que celle que nous venons d'énoncer. Dans le meilleur des cas, on évoque brièvement que cette formule est

¹ Cette annexe est tirée de notre mémoire de master 2. Ceci explique la légère différence de mise en forme des notes de bas de page.

liée historiquement à la mesure de “l’effet de la force”. Et généralement, on en donne une définition circulaire avec l’énergie potentielle. Ainsi pour Florence Viot,

le travail développé par l’opérateur pour amener le point matériel depuis le point d’origine des potentiels jusqu’au point géométrique P est alors égal à l’énergie potentielle de M à la position P [...] Tout se passe comme si l’opérateur cédait au point M une énergie que celui-ci emmagasine, et qu’il est potentiellement susceptible de libérer par la suite (sous forme d’énergie cinétique par exemple), si l’opérateur supprime la contrainte qu’il exerçait sur M.²

Nous ne sommes pas plus avancés, et, si didactiquement la chronologie des concepts importe peu puisqu’ils sont appréhendés dans leurs relations mutuelles achroniques, il semble historiquement absurde de tenter de donner une interprétation physique d’un concept par un autre qui lui est postérieur. Il nous faut donc revenir à la source de l’émergence du concept, c’est-à-dire au début du 19^e siècle.

01.b. LES FONDATEURS

Pourquoi disons nous que le travail émerge à cette période ? La chose n’est pas originale, et les auteurs reconnaissent unanimement qu’un petit groupe de trois scientifiques, tous issus de l’Ecole Polytechnique, est à l’origine de ce concept et duquel se dégage principalement Charles-Louis Navier (1785-1836, promotion 1805), Jean-Victor Poncelet (1788-1867, promotion 1807), et surtout Gustave-Gaspard Coriolis (1792-1843, promotion 1808). Secondairement d’autres contributeurs sont avancés, toujours issus de la même institution : Alexis Petit (1791-1820, 1807), Claude Burdin (1788-1873, 1807), et Jean Baptiste Bélanger (1790-1874, 1808). Tous ces personnages mettent au jour dans une période resserrée des outils et des théories très proches les unes des autres, en mettant en avant des concepts de travail dont l’expression ultime se trouve chez Coriolis. Notre but ici n’est bien évidemment pas de refaire l’historique de cette période dans le détail. D’autres l’ont déjà fait dans des travaux d’une grande qualité³. Ce que nous cherchons ici, c’est simplement donner un résumé de cet historique, afin de comprendre les tenants et les aboutissants de l’émergence de ce concept. C’est pourquoi nous ne nous intéresserons qu’aux deux principaux promoteurs : Navier et Coriolis. La contribution de Poncelet étant plus tardive que celle des deux auteurs précédents, et son œuvre étant très similaire à celle de Coriolis, par qui il a été influencé, nous avons choisi de ne pas en faire mention dans ce bref historique.

² Florence VIOT, *Mécanique du point, Cours et problèmes résolus*, Paris, Dunod, 1998 (1^{ère} édition 1993)

³ On peut citer par exemple le très beau livre de Jean Pierre Séris, *Machine et communication- Du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, Vrin, 1987, p. 377-450

01.b.i NAVIER ET LA “MONNAIE MECANIQUE”

En 1819, Navier publie un important ouvrage : la réédition de l'*Architecture Hydraulique* de Bélidor (1693-1761), édité primitivement entre 1737 et 1739 pour ce qui est de la première partie (2 tomes), et que Navier annote⁴. L'ouvrage originel exerça une grande influence sur tous les ingénieurs traitant des questions hydrauliques jusqu'au 19^e siècle. Néanmoins le temps aidant, les connaissances s'accroissent, et le besoin se fit sentir de mettre à jour l'ouvrage et Coulomb envisagea alors en 1781 d'en réaliser une édition révisée, projet qu'il abandonna finalement. L'ouvrage de Navier est considérable, puisque ses seules *Notes*, forment un volume aussi épais que le livre de Bélidor. La question nodale de la pensée de Navier est de trouver une “*manière d'évaluer en mécanique le travail ou effet des machines*”⁵. La motivation de trouver une telle mesure relève d'une préoccupation économique :

La comparaison de diverses machines, pour le négociant et le capitaliste, se fait naturellement d'après la quantité de travail qu'elles exécutent, et le prix de ce travail. Pour estimer les valeurs respectives de deux moulins à blé, par exemple, on examinera quelle quantité de farine chacun peut moulin dans l'année ; et pour comparer un moulin à blé à un moulin à scier, on estimera la valeur du premier d'après la quantité de farine moulue annuellement et le prix de la mouture, et la valeur du second d'après la quantité de bois qu'il débitera dans le même temps et le prix du sciage⁶.

Précisons qu'à l'époque on entend par le terme “machine” une définition particulière, différenciée du “moteur”. Le moteur transmet son action à la machine, qui, elle, et non le moteur, vainc les résistances. Le moteur n'est donc pas efficace en lui-même : c'est la machine qui constitue le médiateur de son action. Mais elle est, de plus, un transformateur : tandis qu'un moteur représente l'input, ce qu'on a à l'entrée, c'est-à-dire le “travail” mécanique ou la “force” donnée à la machine, cette dernière, elle, produit un travail, c'est-à-dire un ouvrage, au sens de la quantité de matière produite, tel que 3 tonnes de grains moulus, ce qui représente l'output⁷, ce qu'on obtient à la sortie, et c'est ce à quoi s'intéresse ici Navier (qui énonce ensuite que ce travail-ouvrage est une certaine fonction du travail mécanique produit par cette machine).

⁴ Bernard Forest de BELIDOR, *Architecture Hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever, et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie, Nouvelle édition, avec des notes et additions par M. Navier, ingénieur du corps des ponts-et-chaussées, Paris, Chez Firmin Didot, 1819*

⁵ *Ibid.* p. 376

⁶ *Ibid.*

⁷ Les termes input/output sont souvent utilisés en électronique. Nous les employons généralement pour différencier ce qui est “donné à” de ce qui est “produit par”, c'est-à-dire ce qu'on a à l'entrée, et ce qu'on obtient à la sortie. Ces termes nous semblent heureux pour répandre l'idée d'un transformateur, notion qui se retrouve aussi en électronique.

En multipliant la quantité de cet ouvrage produit avec le prix de celui-ci, on trouve une clé de comparaison pour différentes productions. Mais cette clé est déficiente, nous dit notre polytechnicien :

Supposons en effet une personne qui possède un moulin à blé, et qui désirerait, au moyen de quelques changements dans son mécanisme, en faire un moulin à scier. Elle ne pourrait juger de l'avantage ou du désavantage de cette opération qu'autant qu'elle saurait évaluer, d'après la quantité de farine produite par le moulin, la quantité de bois qu'il serait dans le cas de débiter. Or cette évaluation est une chose absolument impossible, à moins qu'on n'ait trouvé une mesure commune pour ces deux travaux de natures si différentes. Cet exemple suffit pour montrer la nécessité d'établir une sorte de *monnaie mécanique*, [...] avec laquelle on puisse estimer les quantités de travail employées pour effectuer toute espèce de fabrication⁸.

Il s'agit donc au final de trouver un moyen d'évaluer la production, l'ouvrage réalisé, l'effet de la machine, par une mesure a priori, qui ne passe pas par les prix du marché. Comme le remarque cependant Vatin⁹, il ne s'agira pas tout à fait de la même machine, puisqu'il faudra effectuer "quelques changements". Navier suppose donc que ces changements sont suffisamment faibles économiquement pour qu'on puisse raisonner sur le même capital.

Jusqu'ici, cela n'a rien à voir avec la théorie physique. C'est alors que se produit le basculement. Navier énonce qu'en ultime analyse, l'exécution d'un ouvrage se réduit toujours à exercer une force contre une résistance sur une certaine distance :

Il y a toujours dans l'action d'une machine un effort ou pression exercé contre un point, pendant qu'un espace est parcouru par ce point. Cette remarque conduit naturellement à reconnaître que le genre de travail le plus propre à servir à l'évaluation de tous les autres est *l'élévation des corps pesants*. En effet, [...] on peut toujours, quelle que soit la nature du travail exécuté par une machine donnée, non seulement dans la pensée et par une abstraction de l'esprit, mais aussi dans la réalité, substituer à ce travail l'élévation d'un poids ; car on peut supprimer la résistance, et attacher, dans sa direction au point où elle agissait, une corde passant sur une poulie de renvoi, à l'extrémité de laquelle on suspendrait un poids égal à l'effort ou pression que la résistance exerçait. Rien ne serait changé aux conditions du mouvement de la machine, qui resterait le même, et dont l'effet serait seulement transformé en l'élévation du poids.¹⁰

Ainsi donc la monnaie mécanique en question peut être mesurée objectivement par cette méthode en multipliant un poids par la distance qu'il parcourt. En effet :

Il ne s'agit plus pour pouvoir soumettre au calcul cette nouvelle espèce de quantité que de pouvoir l'évaluer en nombre. En examinant ce que c'est que d'élever un poids, on voit qu'il entre dans cette opération deux éléments, qui sont la grandeur du poids et la hauteur à laquelle on l'élève. Mais on reconnaît facilement que c'est la même chose d'élever un poids d'un kilogramme à deux mètres, ou un poids de deux kilogrammes à un mètre, puisqu'il faut dans les deux cas élever [*deux fois*] un kilogramme à un mètre¹¹.

⁸ BELIDOR, Architecture Hydraulique, annoté par Navier, p.376

⁹ VATIN, François, Le travail- Economie et physique-1780-1830, Paris, PUF, 1993, p.59, note 1

¹⁰ Ibid, p. 377

¹¹ Ibid, p.378. L'idée est ancienne dans la pensée scientifique, et Descartes l'énonce déjà en disant qu'il faut autant de "force", d' "action" ou d' "effort" pour soulever un poids double à une distance simple ou un poids simple à une distance double. Néanmoins l'énoncé de Descartes ne relève à notre sens aucunement d'une notion de travail.

Cette mesure est donc celle du travail produit par la machine, c'est-à-dire l'ouvrage, qui devient "amonétaire", détaché de sa valeur marchande. Si Q représente "la pression qui s'exerce au point d'application de la résistance"¹² et q "l'espace parcouru par ce point dans le sens de cette pression et dans un temps donné"¹³ alors l'effet produit par la machine, son ouvrage, est donné par Qq. Le travail, au sens de quantité de matière produite, ouvrage, devient donc une fonction linéaire du travail mécanique (mouvement) produit par la machine.

Dans un second temps, il s'intéresse à l'action que va exercer le moteur pour mettre la machine en mouvement. Or :

le moteur agit sur la machine comme celle-ci agit sur la résistance : il y a toujours au point d'application du moteur, comme à celui de la résistance, pression exercée et espace parcouru.¹⁴

Donc de même que précédemment, en appelant P la pression qui s'exerce au point où va agir le moteur, et p la distance parcourue par ce point dans le sens de cette pression dans un temps donné, "l'action fournie par le moteur pendant ce temps devra être exprimée numériquement par Pp"¹⁵. Il ne lui est alors pas difficile de rattacher cette expression au principe de conservation des forces vives. Rappelons que ledit principe consiste en la conservation en toutes circonstances de la quantité mv^2 , c'est-à-dire la masse par la vitesse au carré. Il était connu que cette expression était formellement identique au produit PH, le poids par la hauteur, ou, ce qui est la même chose, à $\int P \cdot dx$, avec dx l'élément infinitésimal d'espace. Ce principe est donc donné par l'équation suivante :

$$mv^2 - mv'^2 = 2 \int (m \cdot a_x \cdot dx + m \cdot a_y \cdot dy + m \cdot a_z \cdot dz),$$

avec v et v' les vitesses du point matériel isolé où s'applique une force, à deux instants différents t et t' , a_x , a_y et a_z les projections de l'accélération suivant les trois axes x , y et z du repère dans lequel on considère cette accélération, et dx , dy et dz les éléments d'espace du point projeté sur les trois axes. De plus il est clair lorsqu'on a en tête le principe fondamental newtonien de la dynamique énonçant que $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, que les expressions $m \cdot a_x \cdot dx$, $m \cdot a_y \cdot dy$ et $m \cdot a_z \cdot dz$ représentent les projections suivant les trois axes des quantités $F \cdot r$, avec F la force, qui sera ici un poids, et r la distance parcourue par le point d'application de cette force (produit que Navier nomme quantité d'action). Donc les quantités Qq et Pp, qui sont donc

¹² Ibid.

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Ibid, p. 379

deux expressions représentant une force par une distance, peuvent se voir appliquer le principe de conservation des forces vives. Après application de celui-ci il trouve :

$$\int v \cdot dv \cdot dm = P \cdot dp - Q \cdot dq \text{ , avec } dm \text{ l'élément de masse des pièces de la machine.}$$

On observe que l'on a $-Q$, car Navier considère la machine comme un corps soumis aux forces $-Q$ (du fait de la troisième loi de Newton énonçant l'égalité de l'action et de la réaction), et P . (De plus, pour passer d'un point matériel à un corps, c'est-à-dire un assemblage de points matériels, Navier applique le principe de D'Alembert, et le principe des vitesses virtuelles). D'après notre homme, cette équation signifie que l'augmentation de la force vive (mv^2) est égale au double de la quantité d'action imprimée dans le même instant et elle contient en germe toute la science des machines.

Partant d'une problématique purement économique, la volonté de comparer la production de différentes machines, Navier en vient donc à établir un étalon, une monnaie mécanique, dont la représentation formelle va pouvoir s'intégrer totalement dans la théorie physique, et permettre ainsi par les méthodes de cette dernière de calculer l'effet et la performance des machines, effet et performance mécaniques directement traduisibles en effet et performance économiques.

Pour autant, tel que le montre Konstantinos Chatzis, historien des sciences s'intéressant de très près aux ingénieurs dont nous parlons, Navier ne saurait être considéré comme l'inventeur ultime du concept de travail, car il continue de donner au concept de force vive une place prédominante :

*La quantité d'action intervient dans ses raisonnements, non pas comme une entité ayant une signification physique autonome, mais comme une entité mathématique intervenant dans les calculs et sous la dépendance de la notion de force vive.*¹⁶

Nous ne pouvons qu'être de son avis lorsque nous remarquons à sa suite les propos suivants de Navier :

j'observerai que la quantité d'action est une quantité de même ordre et de même nature que celle nommée force vive[...]. Concevons en effet une force qui a exercé un effort ou pression P contre un point qui a parcouru un espace p dans le sens de l'action de cette force : elle aura dépensé la quantité d'action Pp . Mais si la même force, au lieu d'agir contre un obstacle qui lui résiste, eût agi sur une masse m cédant librement à son action, cette masse, après avoir parcouru le même espace p , aurait acquis une vitesse v et une force vive $mv^2=2Pp$. [...] on voit que les travaux exécutés par les machines ne font proprement que représenter les quantités de force vive qu'auraient pu faire naître les forces qui ont agis sur ces machines si au lieu de cela elles avaient agi sur des

¹⁶ CHATZIS, Konstantinos, Economies, machines et mécanique rationnelle: la naissance du concept de travail chez les ingénieurs-savants français, entre 1819 et 1829, *Annales des Ponts et Chaussées, nouvelle série*, N°82, 1997, p. 10-20.

corps qui leur eussent cédé librement. Ces rapprochements pourront faire apprécier la justesse de ce mot connu de Montgolfier : la force vive est celle qui se paie.¹⁷

Ainsi Navier ne fait pas clairement la différence, physiquement, entre une résistance vaincue, qui suppose dépense, et qui est à proprement parler le travail, et la force vive, c'est-à-dire la "force" qu'un corps peut emmagasiner au cours d'une descente pour la restituer lors de sa remontée, force vive placée sous la paradigme de la conservation. De surcroît, on observera plus tard dans ses annotations, qu'il considère qu'un poids transporté horizontalement sur un plan peut aussi être envisagé sous l'angle d'une quantité d'action fournie. Or dans ce cas, la direction de la force et la direction du déplacement sont perpendiculaires, et donc, d'après la définition moderne du travail que nous avons rappelé page 511, ce dernier est égal à 0. La pensée de Navier souffre donc d'insuffisances, qui seront palliées par Coriolis.

01.b.ii CORIOLIS : "DU CALCUL DE L'EFFET DES MACHINES"

C'est en 1829 que paraît l'ouvrage emblématique du concept de travail : "*Du calcul de l'effet des machines*"¹⁸, qui circulait dans une version plus primitive sous formes de notes que notre auteur avait fait circuler à partir de 1819.



Figure 54 : Gustave-Gaspard Coriolis

Coriolis débute son propos en explicitant le paradigme machinique¹⁹ dans lequel il se place. En effet, dit il :

"Les machines peuvent être étudiées sous trois points de vues différents : 1°. en considérant les forces qui se produisent dans l'état d'équilibre, comme on le fait dans le levier, les vis, les moufles, et toutes les machines destinées plutôt à exercer de grands efforts qu'à produire du mouvement ; c'est le domaine de la Statique ; 2°. en considérant le déplacement seulement pour connaître les dépendances de mouvement, comme on le fait dans l'étude des différents modes de renvois de mouvement et de toutes les mécaniques qui ont pour objet de suppléer à l'adresse de l'homme ; c'est le domaine de la Géométrie ; 3°. enfin, en considérant à la fois les forces et le mouvement, comme on le fait dans les machines

¹⁷ C.L NAVIER, in Bernard Forest de BELIDOR, Architecture Hydraulique, 1819, p. 380

¹⁸ Gustave-Gaspard CORIOLIS, Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leurs évaluation, pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines, Paris, Carilian-Golury, 1829

¹⁹ "machinique" est un néologisme de notre part.

destinées aux fabrications de tout genre où l'économie du moteur doit être prise en considération ; c'est le domaine de la Dynamique."²⁰

Cette définition fondamentale que Coriolis prend ici la peine de faire a pour but pour lui de bien séparer le cadre de la statique et de la géométrie, d'avec celui de la dynamique, qui seul peut servir de cadre théorique à une pensée de la machine en mouvement. La science des machines en mouvement et l'effet des machines faisant partie intégrante de ce cadre, et le concept de travail étant fondé comme une mesure de l'effet des machines, il nous apparaît clair que ce concept est d'essence dynamique, et non statique.

Toujours dans un souci de clarté et de définition, Coriolis en arrive au concept de force. La force au sens où il l'entend ne peut pas produire instantanément un changement sensible (intensité, direction de la vitesse), et "*peut être assimilée à l'action d'un poids ou d'un ressort*"²¹ c'est-à-dire aussi à ce qu'on appelle parfois pression, tension ou traction.

C'est dans l'article (16) que nous voyons apparaître pour la première dans l'histoire de la science le mot de travail pour qualifier ce que nous entendons effectivement par ce mot : "*Nous proposons la dénomination de travail dynamique, ou simplement travail, pour la quantité $\int P \cdot ds$ définie comme on vient de dire.*" L'expression "*comme on vient de dire*" nous renvoie à l'article (12), où notre ingénieur définit la notion de travail élémentaire, avant même de donner la définition générale du travail dans l'article (16) que nous venons de citer, ce pour des raisons didactiques. Dans l'article (12) donc, Coriolis désigne par P la composante tangentielle du poids d'un point décrivant une courbe et par ds le petit arc décrit dans le sens de cette composante. Il définit également P' et ds' dans les cas où la composante tangentielle du poids (P') suivant la courbe décrite par le point soit de direction opposée à l'arc décrit (ds'). Ainsi $P' \cdot ds'$ sera négatif. En somme, Coriolis projette le poids sur la direction du mouvement effectivement pris, et le multiplie par l'élément d'espace parcouru, ce qui correspond bien à la définition scalaire moderne du travail dont nous avons fait mention plus haut, à savoir $W = \vec{F} \cdot d\vec{r}$. En s'attachant à bien différencier les cas où les deux directions font un angle aigu (d'où un produit positif) de celles qui font entre elles un angle obtus (d'où un produit scalaire négatif) Coriolis définit là sans ambiguïté respectivement le travail élémentaire moteur et le travail élémentaire résistant.

²⁰ CORIOLIS, Du calcul de l'effet des machines, art. (1), p. (1).

²¹ Ibid, art (2) p. (2)

Il faut cependant noter que dans l'article (12), Coriolis a pour propos le principe des vitesses virtuelles²². Rappelons brièvement de quoi il s'agit : si nous avons un levier, muni de deux poids en ses extrémités, comme sur la figure ci-contre, alors les poids sont en équilibre s'ils sont en raison inverse des distances qui les séparent des leviers, c'est-à-dire si $M_1.R_1=M_2.R_2$, M désignant les masses et R les distances des poids au point de levier, avec les indices 1 pour les éléments à gauche du point de levier, et 2 pour ceux de droite. La vitesse virtuelle de M_1 (noté V_1) est la vitesse qu'elle prendrait si soudainement la résistance de M_2 ne se faisait plus sentir. Dans ce cas, le poids descendrait d'une petite distance dh_1 , tandis que M_2 monterait d'une distance dh_2 dans le même temps. Ainsi :

$$V_1 = dh_1/dt,$$

or $dh_1=R_1.d\theta$, par des considérations géométriques élémentaires, avec $d\theta$ le petit angle décrit par l'une ou l'autre masse, puisque les deux masses étant reliées entre elles, elles parcourent bien évidemment le même angle.

Ainsi on a :

$$M_1R_1 = M_2R_2 \Leftrightarrow M_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = M_2 \cdot \frac{dh_2}{dt}$$

Entre une masse M et son poids P il n'y a qu'une constante, à savoir g l'accélération de la pesanteur,

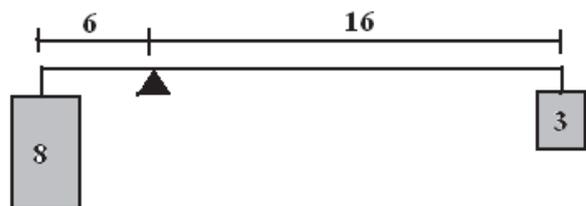


Figure 55 : Exemple de levier

puisque $\vec{P} = M \cdot \vec{g}$. Donc on obtient : $P_1.dh_1=P_2.dh_2$, ou encore $P_1.dh_1 - P_2.dh_2=0$. La somme des produits des forces par les déplacements virtuels sera égale à 0 pour un système en équilibre. Lagrange dans la première partie de sa *Mécanique analytique*, qui traite de la statique, étend ce principe à des ensembles de points mobiles, des systèmes. Du coup, le principe général de la statique devient pour lui: pour qu'un ensemble de forces tienne en équilibre un système matériel, il faut et il suffit que tout déplacement virtuel fasse prendre la valeur 0 à la somme des produits des forces par les déplacements virtuels. C'est dans cette optique que Coriolis prend soin de différencier les situations où les déplacements ont mêmes sens que les forces, de celles où ils sont de sens contraires, afin de pouvoir faire une somme nulle en cas d'équilibre, et non pas de commettre l'erreur d'additionner les simples normes de ces produits. En appelant travaux virtuels le produit des poids par les déplacements virtuels, Coriolis donne le nom de principe des travaux virtuels à ce qu'on appelait avant lui principe

²² Le même qu'utilise D'Alembert dans la Préface de son *Traité de Dynamique*, Paris, Chez David, Librairie, rue & vis-à-vis la grille des Mathurins, 1743

des vitesses virtuelles, et rebaptise du nom de travail virtuel élémentaire ce qu'on appelait jusqu'à lui moment virtuel (il le remarque lui-même page (11)).

Nous avons dit que Coriolis définissait le travail par $\int P \cdot ds$. Mais l'erreur la plus grave consisterait à croire que l'inspiration de son concept de travail est née du principe statique des vitesses virtuelles. Si cela avait été le cas, toute son œuvre se résumerait à avoir inventé un nouveau nom pour un principe que l'on connaissait déjà, et à donner un nom au produit PH qui résulte de l'intégrale $\int P \cdot ds$. La physique n'a pas eu besoin de Coriolis pour inventer le principe des vitesses virtuelles, ni pour l'étendre. Lagrange s'en est déjà occupé, avec le brio que l'on sait. Si la contribution de Coriolis ne résidait qu'à avoir été l'initiateur d'une nouvelle terminologie, alors la physique n'aurait pas retenu son nom comme étant l'inventeur d'un nouveau concept. Si Coriolis utilise un nouveau nom pour $P \cdot ds$, c'est parce qu'il a d'abord défini un nouveau concept, sur des raisons qui ne s'appuient pas sur la théorie physique comme nous allons le voir dans les lignes suivantes, puis il réinterprète rétroactivement la physique à l'aune de son nouvel objet, notamment le principe des vitesses virtuelles, qu'il rebaptise "principe des travaux virtuels", afin d'être cohérent dans ses notations. S'il présente cela de manière inversée, en nommant d'abord le principe des vitesses virtuelles, principe des travaux virtuels, c'est tout simplement pour des raisons didactiques, car il ne faut pas oublier que son traité est principalement destiné aux étudiants, c'est un manuel. Une telle présentation est plus logique, puisqu'on s'appuie sur un existant pour parvenir à la nouveauté. Il ne faut pas oublier que les motivations du groupe d'ingénieurs dont il fait partie, avec Navier, sont d'ordre économique et non physique.

En effet Coriolis choisit délibérément d'isoler le produit PH et de rebaptiser, à la suite de Navier comme on l'a vu, mais aussi de Coulomb qui le nommait tout comme Navier quantité d'action, et que d'autres appelaient "puissance mécanique" ou "effet dynamique". En choisissant le nom de travail pour cette quantité, il agit dans une optique précise :

Ce nom ne fera aucune confusion avec aucune autre dénomination mécanique ; il paraît être très propre à donner une juste idée de la chose, tout en conservant son acception commune dans le sens de travail physique.²³

Coriolis insiste :

On attache en effet au mot travail, dans ce sens, l'idée d'un effort exercé et d'un chemin parcouru simultanément : car on ne dirait pas qu'il y a un travail produit, lorsqu'il y a seulement une force appliquée à un point immobile, comme dans une machine en équilibre ; on n'appliquerait pas non plus l'expression de travail à

²³ CORIOLIS, Du calcul de l'effet des machines, art. (16) p. (17).

un déplacement opéré sans aucune résistance vaincue. Ce nom est très propre à désigner la réunion de ces deux éléments, chemin et force.²⁴

Puis plus loin :

Le nom de travail, que nous avons adopté, nous paraît très propre à donner une idée juste de la quantité qu'il sert à désigner. On se rappellera facilement, lorsqu'on parlera du travail qu'un cheval produit par jour, que c'est l'effort avec lequel il peut tirer dans le sens du chemin multiplié par ce chemin, ou plus généralement que c'est l'intégrale du produit de cet effort multiplié par l'élément du chemin. Lorsqu'on dira que la vapeur que fournit un kilogramme de charbon, produit une certaine quantité de travail, on se représentera facilement que cette quantité est la pression exercée sur le piston, multipliée par le chemin qu'il décrit, ou intégrée par rapport à ce chemin.²⁵

D'ailleurs,

Ce mot de travail vient si naturellement dans le sens où je l'emploie, que, sans qu'il ait été ni proposé, ni reconnu comme expression technique, cependant il a été employé accidentellement par M. Navier dans ses Notes sur Bélidor, et par M. de Prony dans son Mémoire sur les Expériences de la Machine du Gros-Caillou.²⁶

Mais est-ce seulement parce que le produit PH porte en lui-même les notions de force déplacée et de distance, donc de travail au sens commun, qu'on l'appelle "travail" ? En ce sens, le mot ne resterait qu'une innovation terminologique sans grand intérêt, si ce n'est de donner un moyen mnémotechnique pour se souvenir de sa formule. Non, le mot travail n'est pas qu'un mot, c'est bien un concept dans l'esprit de notre auteur et s'il désigne le produit PH sous le nom de travail, c'est

que cette quantité sert de base à l'évaluation des moteurs dans le commerce ; que c'est le travail qu'on doit chercher à économiser, et que c'est à cette même quantité que se rapportent principalement toutes les questions d'économie dans l'emploi des moteurs.²⁷

En d'autres termes, c'est parce que le produit PH est une mesure pertinente du travail des moteurs qu'on l'appelle travail. Il est le concept à partir duquel on doit raisonner pour tout ce qui a trait à l'effet des machines en mouvement. Coriolis a ensuite une formule choc :

Nous ne produisons rien de ce qui est nécessaire à nos besoins, qu'en déplaçant les corps ou en changeant leur forme ; ce qui ne peut se faire à la surface de la terre qu'en surmontant des résistances, et en exerçant certains efforts dans le sens du mouvement. C'est donc une chose utile que la faculté de produire ainsi le déplacement accompagné de la force dans le sens du déplacement, c'est-à-dire que la faculté de produire la quantité que nous appelons travail. Soit qu'on la tire des animaux, de l'eau ou de l'air en mouvement, de la combustion du charbon, de la chute des corps, elle est limitée pour chaque temps, pour chaque lieu ; elle ne se crée pas à volonté. Les machines ne font qu'employer et économiser le travail, sans pouvoir l'augmenter ; dès lors la faculté de le produire se vend, s'achète, et s'économise comme toutes les choses utiles qui ne sont pas en extrême abondance.²⁸

²⁴ *Ibid.*

²⁵ *Ibid, art. (30) p. (32)-(33)*

²⁶ *Ibid , Avertissement, p. (III).*

²⁷ *Ibid, art (26), p. (27)*

²⁸ *Ibid. art (26) p. (27)-(28)*

Et grâce à ce nouveau concept de travail comme produit de la force par la distance, parfait isomorphisme (dans l'esprit de Coriolis) du travail physique pris en son sens commun, on peut comparer la production de deux machines :

Si donc on veut comparer ensemble deux facultés de mouvement, il suffira de concevoir qu'on ait construit des machines à l'aide desquelles on puisse ainsi appliquer ces facultés à la même fabrication, par exemple, à moudre du blé : le nombre de litres de blé qu'on pourra moudre sera de même sensiblement proportionnel aux quantités de travail moteur produit sur ces machines à l'aide de ces facultés de mouvement. Mais il est clair que la valeur comparative des deux moutures sera mesurée par les nombres de litres de blé moulus ; et comme ces derniers sont sensiblement proportionnels aux quantités de travail moteur produit sur chaque machine, il s'ensuit que les deux facultés de mouvement auront des valeurs proportionnelles à ces quantités de travail qu'elles peuvent produire sur ces machines²⁹.

On voit donc bien que nous ne sommes pas dans une simple métaphore : le produit de la force par la distance est appelé travail parce qu'il est le travail des machines, ou des hommes, et qu'en raisonnant sur cette quantité on raisonne sur le travail de l'agent producteur. Ainsi le travail-ouvrage (quantité de matière produite) est proportionnel au travail-mécanique (mouvement) de la machine, et celui-ci est également représentatif du travail des hommes. Concept de travail (force x distance) et travail au sens commun sont une seule et même chose, grâce à leur équivalent mécanique, dont la première est la formalisation de la seconde, au même titre que le concept de vitesse moyenne ou de vitesse instantanée comme formules mathématiques, donne l'exact représentant formel du concept de vitesse au sens commun.

Mais Coriolis ne peut arriver à ses conclusions que parce qu'il a réussi à intégrer son concept dans la structure physique existante et à le fonder mathématiquement de manière cohérente. Et, contrairement à Navier, il met le travail au centre de sa vision de la machine. Pour preuve, nous pouvons lire dans l' "avertissement" du début de l'ouvrage, lorsqu'il exprime le fait qu'il a choisi de n'appeler "force vive" que $\frac{1}{2} mv^2$ alors que jusqu'à lui c'est mv^2 qu'on nommait ainsi. Ainsi on passe de $mv^2 = 2 P.H$ à $\frac{1}{2} mv^2 = PH$. Pourquoi donc ? Car :

Il est très gênant d'avoir un nom pour le double d'une quantité que l'on retrouve à chaque instant. Si l'on a donné anciennement le nom de force vive au produit de la masse par le carré de la vitesse, c'est qu'on ne portait pas son attention sur le travail, et que ce n'était pas le produit du poids par la hauteur due à la vitesse qu'on avait eu à désigner le plus souvent. Tous les praticiens entendent aujourd'hui par force vive le travail que peut produire la vitesse acquise par un corps.³⁰

Puis :

Cette quantité $pv^2/2g$ [= $\frac{1}{2} mv^2$] est donc la mesure du travail qu'on pourrait retirer au maximum de la vitesse d'un point matériel ; elle est donc le travail disponible. Comme on donnait autrefois le nom de force à ce que nous désignons ici par travail, on conçoit qu'on ait appelé force vive ce que nous pourrions nommer travail disponible ou travail possédé par un corps.

²⁹ *Ibid.* art (26) p. (29)

³⁰ *Ibid.*, Avertissement, p. (III)

Dès lors le principe de conservation des forces vives se retrouve centré sur la notion de travail. Il devient :

$$\sum \int P \cdot ds - \sum \int P' \cdot ds' = \sum \frac{p \cdot v^2}{2g} - \sum \frac{p \cdot v_0^2}{2g}, \text{ avec } \frac{p}{g} \text{ la masse du système, } v \text{ la vitesse}$$

finale et v_0 la vitesse initiale. Coriolis l'énonce ainsi :

Dans tout système de corps en mouvement, la différence entre la somme des quantités de travail dues aux forces mouvantes, et la somme des quantités de travail dues aux forces résistantes, pendant un certain temps, est égale à la variation de la somme des forces vives de toutes les masses du système pendant le même temps.³¹

C'est alors que Coriolis met en avant un énoncé qu'il juge excessivement important pour la mécanique. Si on considère, nous dit-il, le mouvement entre deux instants où les vitesses sont nulles, c'est-à-dire par exemple entre l'origine du mouvement jusqu'à son extinction, ou bien entre deux instants où la variation de ces vitesses est nulle, on aura :

$$\sum \int P \cdot ds = \sum \int P' \cdot ds' , \text{ "c'est-à-dire que la somme des quantités de travail dues aux}$$

forces mouvantes est égale, dans ce cas, à la somme des quantités de travail dues aux forces résistantes."³² Et donc :

Cet énoncé renferme le principe le plus important de la Mécanique : on peut le nommer principe de transmission du travail, parce qu'en effet, quand on considère le mouvement depuis la naissance des vitesses jusqu'à leur extinction, le travail produit par les forces mouvantes, c'est-à-dire par celles qui proviennent du moteur, se retrouve tout entier dans celui qui est dû à toute espèce de force résistante.³³

Cette idée de transmission d'une quantité dans le mouvement des machines est extrêmement intéressante, en ce qu'elle met en scène, certes une idée de conservation, ce qui n'est pas nouveau, mais au travers d'un fluide substantiel qui acquiert un véritable statut ontologique. En ce sens elle porte en germe l'idée de conservation d'une quantité qui ne sera plus la force vive ou le travail mais l'énergie, trente ans plus tard. Ainsi Coriolis établit cette fois-ci une métaphore hydraulique, comparant le travail à un fluide, et sa transmission à la transmission d'un fluide, qui se diviserait en plusieurs courants quand un corps en pousse plusieurs autres, ou bien dont plusieurs courants se réuniraient lorsque plusieurs corps en poussent un seul :

Ce fluide pourrait en outre s'accumuler dans certains corps et y rester en réserve jusqu'à ce que de nouveaux contacts ou des contacts avec écoulement plus considérable en fissent sortir une plus grande quantité.³⁴

³¹ *Ibid*, art (18) p. (18)

³² *Ibid*

³³ *Ibid*

³⁴ *Ibid*, art (25) p. (27)

Coriolis prolonge la construction mathématique de son nouveau concept par refonte des anciennes catégories de pensée, en supposant que $v_0 = 0$ (la vitesse de départ est nulle) et que les forces résistantes sont nulles ou négligeables, ce qui donne alors :

$$\sum \int P \cdot ds = \sum \frac{p \cdot v^2}{2g}, \text{ c'est-à-dire que "le travail moteur a pour mesure la somme des}$$

forces vives du système au dernier instant."³⁵

De même, dans le cas où il n'y a que des forces résistantes, le travail résistant qu'elles doivent produire pour anéantir le mouvement, a pour mesure la somme des forces vives qu'avait le système au premier instant où ces forces ont commencé à agir :

$$\sum \int P' \cdot ds' = \sum \frac{p \cdot v_0^2}{2g}$$

Ce sont ces reconstructions mathématiques sur la base du travail comme concept central qui donnent au concept toute sa puissance et son assise théorique. Coriolis procède donc à un rapprochement entre la science des machines et la science analytique, la première devenant appréhendable par la seconde à partir d'un concept issu de la sphère de la première mais dont la puissance ne peut se révéler qu'au travers de la reconstruction conceptuelle de la seconde. Achèvement suprême, Coriolis peut enfin redéfinir la machine :

Tout ce que nous venons de dire s'applique à une machine en mouvement en tant qu'on la considère d'abord rationnellement, c'est-à-dire qu'on l'assimile à un système de points matériels liés entre eux d'une manière quelconque.

Dorénavant nous nous servirons de la dénomination machine pour désigner les corps mobiles auxquels nous appliquerons l'équation des forces vives : en ce sens, un seul corps qui se meut serait une machine tout comme un ensemble plus compliqué.³⁶

Insistons bien sur un point : Coriolis ne change formellement rien aux équations qu'il y avait lui. Sa contribution est conceptuelle, c'est-à-dire qu'il change le sens des équations, ce qui tend à prouver, que dérivation mathématique et invention conceptuelle sont deux choses différentes. Et son apport est véritablement essentiel puisque seulement 30 ans séparent l'émergence du travail de celle de la conservation de l'énergie, à partir, comme l'a montré Kuhn³⁷, de ce même concept de travail, dès lors véritablement perçu comme une entité à part entière, pourvu de sa logique interne.

³⁵ *Ibid art (19) p. (19)*

³⁶ *Ibid, art (21) p. (20)*

³⁷ P. 132 : "Ce théorème [*le principe de conservation des forces vives*] joue un rôle éminent dans l'histoire de la dynamique et s'avère en outre avoir été un cas particulier de la conservation de l'énergie. Il aurait pu en fournir un modèle. L'opinion dominante selon laquelle il l'a fait me semble toutefois erronée." P.136-137 : "C'est seulement après avoir été ainsi reformulée [*par les précurseurs*] que la conservation de la force vive devient un modèle conceptuel adapté à la quantification des processus de conversion, et, pourtant, presque aucun des

Et remarquons, pour conclure ce rapide historique, que nos fondateurs étaient tous issus de l'école polytechnique. Ce n'est sans doute pas un hasard. En effet cette dernière étant née d'une volonté de donner à la France des ingénieurs compétents dans la science des machines, dans le but de la faire progresser, nos hommes reçurent à la fois une formation poussée dans ce domaine, et à la fois un enseignement théorique développé. Au fait des plus récents développements de la science rationnelle, dont notamment la fameuse *Mécanique Analytique* de Lagrange, nos auteurs purent, après avoir créé le concept de travail à partir de considérations pragmatiques, lui donner une signification physique précise. C'est grâce à ce rapprochement que le concept de travail put être diffusé comme tel au sein de la physique.

précurseurs ne l'a utilisé. Ils renouèrent au contraire avec la tradition ancienne des ingénieurs où Lazare Carnot et ses successeurs français avaient puisé les concepts nécessaires pour formuler leurs nouvelles versions du théorème de conservation de la dynamique. Sadi Carnot représente l'unique exception ”

ANNEXES DU CHAPITRE 1

Annexe 01 DESCRIPTION ET RESULTATS DES EXPERIENCES SUR LA FORCE DE L'EAU MENEES A L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES

01.a. IMPRESSIONS DE L'EAU SUR LE PLATEAU D'UNE BALANCE

Privilégiant l'expérience au discours, Huygens montre la première machine utilisée pour éprouver cette force le 3 avril 1669 à l'Académie des Sciences. Elle consiste simplement en un vaisseau cylindrique haut de 3 pieds¹, de base 6 pouces carrés, muni d'un trou circulaire de 4 lignes à l'une de ses extrémités. A très peu de distance de l'ouverture, le bras d'une balance munie d'une platine ronde et d'un petit poids permettant de l'équilibrer avec le plat de la seconde extrémité (Figure 56 gauche). On remplit alors le cylindre de 35 pouces d'eau, l'idée étant, une fois que l'eau coule, de mesurer le poids permettant d'équilibrer le débit. Ce n'est pas la première fois que Huygens réalise ces expériences. Ses œuvres complètes recèlent en effet un manuscrit du 13 février dans lequel il procède de la même manière.² Les mesures, précisent Huygens, se sont révélées difficiles du fait de la difficulté de tenir le plat de la balance ni trop près ni trop loin de l'ouverture. Enfin il a comparé ces valeurs à celle du poids du cylindre d'eau de hauteur égale à celle contenue dans le vase, et dont la base est égale à celle du trou de quatre lignes (cf. Tableau 2)

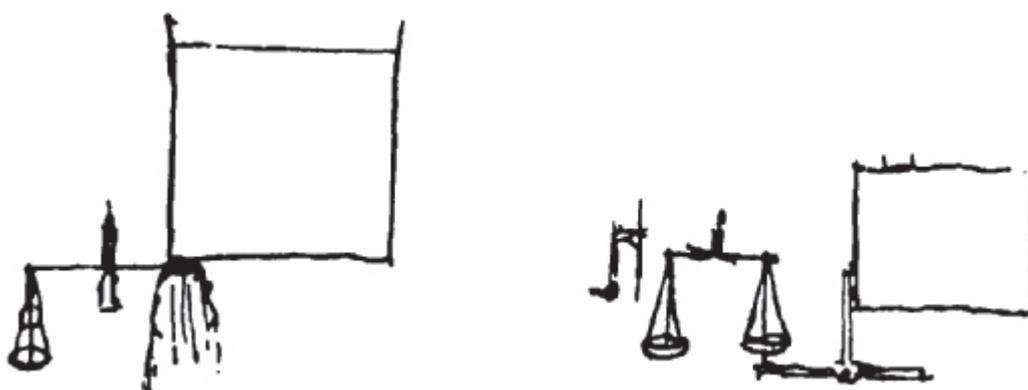


Figure 56 : Dessin des deux expériences sur la force mouvante des eaux présentées par Huygens le 3 avril 1669, figurant dans un manuscrit daté du 13 février 1669: Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.120

¹ 1 pied du roi= 32,484 cm selon la toise du Châtelet d'après 1668 (ou 32,660 cm selon la toise de l'Ecritoire d'avant 1667). 1 pouce = 1/12 pied= 2,707 cm ; une ligne = 1/12 pouce= 2,256 mm ; un point = 1/12 ligne= 0,188 mm ; Précisons en outre qu'une toise vaut 6 pieds soit 1,949 m ; un arpent 220 pied, soit 71,465 m ; une lieue de Paris, 12000 pieds, soit 3,898 km. Concernant les poids, une livre de paris = 16 onces ; une once = 8 gros= 24 deniers = 30,59 g. ; 1 gros = 72 grains

² HUYGENS, OCH: T.19,120

Hauteur d'eau H dans le cylindre	Poids équilibrant la balance (expérimental)	Poids du cylindre d'eau de hauteur H ayant pour base le trou de 4 lignes (=1/3 pouce) ³ pressant sur sa base
35 pouces	2 onces 3 gros/4,5 gros <i>(2,375 onces/2,563 onces)</i>	Huygens : 2 onces 2 gros <i>Calcul : 2 onces 20 grains (2,036 onces)</i>
2 pieds <i>(=24 pouces)</i>	1 once 6 gros <i>(1,75 once)</i>	Huygens : 1 once 3 gros <i>Calcul : 1 once 3 gros 12 grains (1,396 once)</i>
2 pieds* <i>(=24 pouces)</i>	1 ¼ once*	<i>Calcul : 1 once 3 gros 12 grains (1,396 once)</i>
2 pied 11 pouces* <i>(=35 pouces)</i>	2 onces 3 gros* <i>(2,375 onces)</i>	<i>Calcul : 2 onces 20 grains (2,036 onces)</i>
30 pouces*	2 onces 3 gros 30 grains* <i>(2,427 onces)</i>	<i>Calcul : 1 once 5 gros 69 grains (1,745 onces)</i>
32 ½ pouces*	2 ½ onces ½ gros* <i>(2,563 onces)</i>	<i>Calcul : 1 once 7 gros 9 grains (1,890 onces)</i>
13 pouces*	1 ¼ d'once 18 grains* <i>(1,281 once)</i>	<i>Calcul: 6 gros 4 grains (0,756 once)</i>
35 pouces*	2 ½ onces 1 ½ gros* Soit 2 onces 5 gros 36 grains <i>(2,688 onces)</i>	<i>Calcul : 2 onces 20 grains (2,036 onces)</i>

Tableau 2 : Résultats des mesures de Huygens sur la force de l'eau des expériences du 3 avril 1669 et du 13 février 1669 (les données marquées d'une * sont celles données par Huygens pour le 13 février ; les valeurs que nous calculons sont indiquées par l'italique)

³ Il a suffi à Huygens de calculer $P_{col} = R \cdot V = R \cdot S \cdot H$ (V volume de la colonne, R masse volumique de l'eau, H , hauteur de la colonne), en prenant $R = 72 \text{ livres/pied}^3 = 2/3 \text{ pouces}^3$,

Les différences constatées sont attribuées par Huygens à la difficulté qu'il y a, expérimentalement, à faire en sorte que la platine soit ni trop près ni trop loin de l'ouverture. Huygens en tire trois conclusions :

- l'impression que fait l'eau est égale non au poids total de l'eau contenue dans le vase, mais au "poids absolu" de la colonne d'eau située au dessus de l'ouverture.
- l'impression de l'eau I_{eau} , son *effort*, contre une surface, est proportionnelle au carré de la vitesse de l'eau s'écoulant (V_{eau}^2). Cette vitesse est en effet proportionnelle à $\sqrt{H_{\text{colonne}}}$, et donc à $\sqrt{P_{\text{colonne}}}$ (d'après Torricelli et les expériences faites à l'académie l'année précédente, cf. ci-dessous)
- V_{eau} étant donnée par la "théorie des vitesses des corps qui tombent", il est facile de déterminer la valeur numérique de "*la force ou l'impression de l'eau [...] contre quelque surface donnée, par exemple contre les aisles d'un moulin*".⁴ Ainsi, pour une hauteur de 35 pouces, la vitesse correspondante doit être de 13 pieds 1/5 de pouces en une seconde.

Michel Blay fait opportunément remarquer⁵ que Huygens ne tient pas compte de la contraction subie par une veine d'eau issue d'une ouverture dans un vase, de l'ordre de 40% dans le cas présent. En outre, les frottements de l'eau sur les parois ne sont pas négligeables. De sorte que numériquement, Huygens obtient un poids équilibrant la balance quasiment égal au poids de la colonne d'eau de base égale à l'ouverture et de hauteur égale à celle de l'eau, c'est-à-dire au poids statique de l'eau agissant sur une section s . En réalité, si la veine d'eau ne subissait aucune contraction ni frottements (comme Huygens semble le supposer) le poids ressenti par la balance devrait être de deux fois celui de la colonne d'eau⁶. Conséquence, tout aussi peu négligeable : une force dynamique est conceptualisée comme une force statique. Néanmoins, comme Huygens considérera ensuite des rapports, ceci n'aura pas d'incidence majeure sur le reste.

⁴ GALLOYS, JEAN, "Procès-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences", Paris, Archives de l'Académie des Sciences: T.6 (1669- Registre de physique), f° 3 r°.

⁵ BLAY, "Recherches sur les forces exercées par les fluides en mouvement à l'académie royale des sciences: 1668-1669"

⁶ En termes modernes, la force exercée par un jet est $F=r.s.v^2$, avec r la masse volumique du fluide, s la section de l'ouverture, v la vitesse d'échappement du fluide. Ici $v= \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ avec h la hauteur du fluide (d'après Torricelli). Il suit : $F = 2.r.g.s.h$. En prenant en considération la contraction de la veine et les frottements : $F=r.g.s.h$ à peu de choses près.

Nous rajouterions, si on prend la totalité des expériences réalisées sur le sujet (en incluant donc celles du 13 février), que Huygens ne trouve pas exactement les mêmes poids pour la colonne d'eau et pour la pression du jet, cette dernière étant systématiquement plus importante que le poids statique de la colonne. Mais il passe bien vite sur cette différence, pourtant non négligeable. En outre, il ne présente à l'Académie que deux expériences (les deux premières citées dans le Tableau 2), et présente pour le poids théorique d'une colonne de 35 pouces, un nombre erroné, supérieur à la réalité. En outre, il donne une valeur variant entre 2 onces 3 gros et 2 onces 4 ½ gros pour cette dernière hauteur, le 3 avril, alors que le 13 février, il excluait la valeur de 2 pouces 3 onces, la jugeant peu fiable, puisqu'il avait trouvé un poids supérieur pour une hauteur inférieure, à savoir 32,5 pouces (voir Tableau 3). Y avait-il une intention derrière ces apparentes incohérences ?

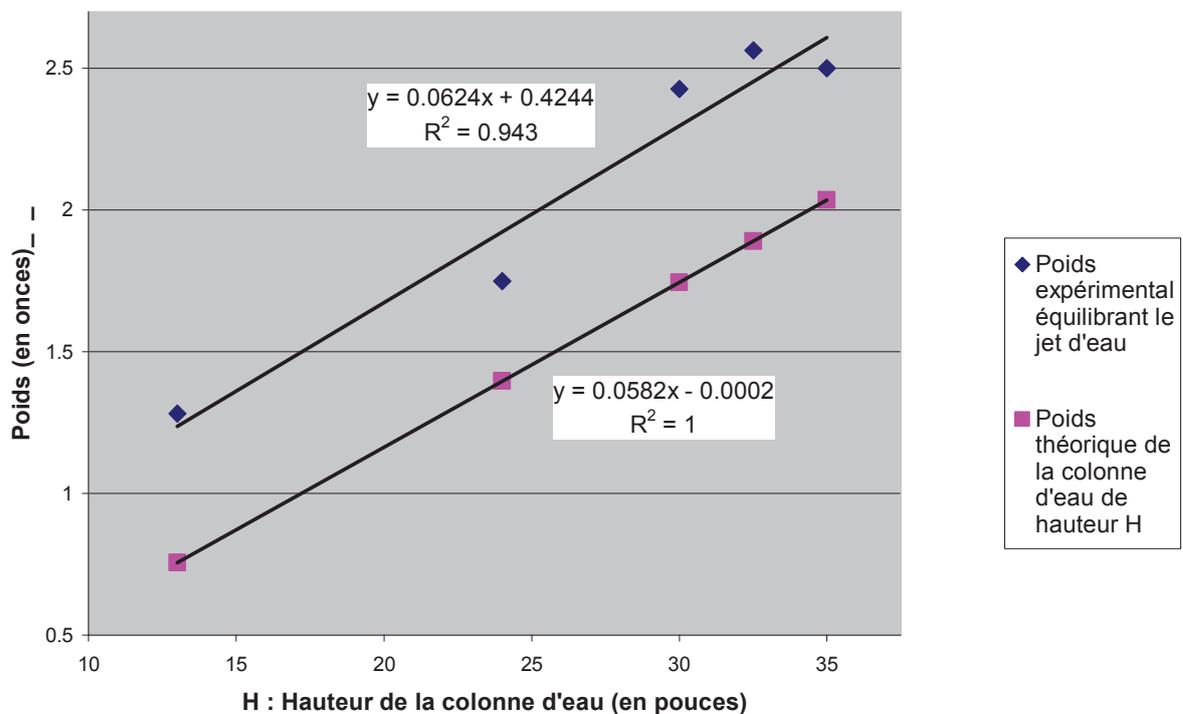


Tableau 3: Graphique obtenu à partir des résultats des expériences de Huygens des 3 avril et 13 février 1669, reliant les poids théoriques et expérimentaux des colonnes d'eau en fonction des hauteurs de la colonne⁷

Hâtons nous cependant de remarquer que la délicatesse de l'expérience est réelle : les poids mesurés varient de 54 à 78 grammes environ. Les différences constatées varient elles de 11 à 21 grammes environ. Huygens a donc pu légitimement penser que les différences constatées, de 19 à 40% environ (avec une moyenne à 27% environ), étaient le fruit de la

⁷ La valeur du poids pour la hauteur $H = 35$ pouces a été obtenu en moyennant les résultats correspondants.

difficulté du dispositif expérimental. Ces incertitudes n'empêcheront pas Mariotte de reprendre ces résultats en 1686.⁸

La seconde conclusion utilise les résultats bien connus de Torricelli. Cependant, il faut noter qu'en 1668, des travaux de l'Académie, de Picard, Huygens, Mariotte et Roberval avaient portés sur la vitesse des eaux s'échappant d'un vase, précisément pour éprouver la loi de Torricelli.⁹ C'est une fois assurés de ses vues que les académiciens se sont attelés à la mesure de la force mouvante de l'eau en 1669.

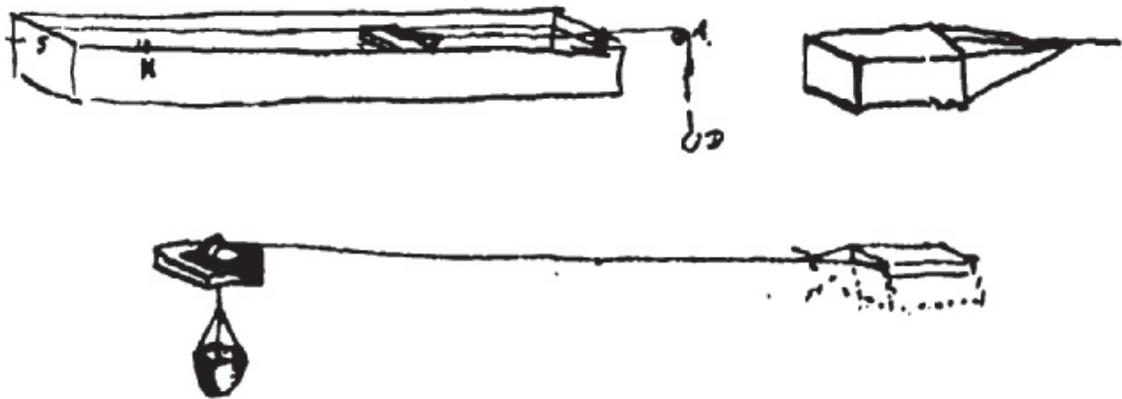


Figure 57 : Dessin des secondes expériences sur la force mouvante des eaux présentées par Huygens le 3 avril 1669, figurant dans un manuscrit daté du 13 février 1669: Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.122

01.b. LA FORCE DE L'EAU COURANTE DANS UN CANAL

Passons à la 2^{ème} expérience. Huygens propose ensuite d' "examiner d'une autre manière la force de l'eau courante"¹⁰, par le moyen d'un canal de bois, dont le principe est présenté ici (Figure 57, en haut).

Un parallélépipède de bois est disposé dans le canal, attaché à une petite corde passant par une poulie, de sorte qu'elle soutienne un poids P. Le parallélépipède est attaché à la corde par les quatre coins de la face heurtant l'eau, de sorte à ce qu'il ne frotte pas contre les bords du canal. Une fois le poids attaché, on laisse mouvoir le morceau de bois à partir de

⁸ HUYGENS, OCH: t.19, 90

⁹ Séances du 11 juillet, 25 juillet, 1^{er} août, 8 août, 29 août (les pvs indiquent 28 août de manière erronée, le 28 étant un mardi, et la compagnie s'assemblant les mercredi), 5 septembre, 10 octobre (GALLOYS, "PV ARS": T.3, f° 99 r° sq, 104 r° sq, 110 r° sq, 118 v° sq, 125 r° sq, 132 r° sq). Pour une description de cette première phase d'expériences, cf. BLAY, "Recherches sur les forces exercées par les fluides en mouvement à l'académie royale des sciences: 1668-1669": 93-100 Sur les relations entre Huygens et Roberval, cf. GABBAY, ALAN, "Huygens et Roberval", in TATON, R. (ed.), Huygens et la France, Paris, J.Vrin, 1982, 69-83 Sur Huygens et Picard, cf. PICOLET, GUY, "Huygens et Picard", in TATON, R. (ed.), Huygens et la France, Paris, J. Vrin, 1982, 85-97

¹⁰ GALLOYS, "PV ARS": T.6 (1669- Registre de physique), f° 3 r°

l'extrémité gauche du canal, en mesurant le temps, grâce à un pendule à demi secondes, à partir du moment où l'arrière du morceau de bois atteint un point L situé à 1 pied de celle-ci, afin de ne considérer que le régime stationnaire (mouvement uniforme).

Les résultats sont les suivants :

Poids P	Nombre de vibrations du pendule
2 onces	11
1 once	15
½ once	22 ou 23

Ceci permet à Huygens de conclure :

1. Qu'un poids quadruple cause une vitesse seulement double, autrement dit la vitesse du parallélépipède est proportionnelle à la racine du poids.
2. Que pour corps tiré à vitesse uniforme, "la force du poids P est justement égale à la résistance de l'eau qu'il doit franchir"¹¹

Pour Huygens, cette situation est tout à fait identique à cette autre, où un le poids P serait alors immobile tandis qu'il recevrait toute la force du courant, "*c'est à dire qu'il faudroit iustement autant de poids, tirant par-dessus une poulie pour arrester ce corps immobile contre le cours de l'eau qu'il en falloit pour luy donner cette vitesse dans l'eau*". Cette conviction est également exprimée dans le manuscrit daté du 13 février 1669 : "*l'effet de la pression est egal soit que l'eau aille contre la surface d'un corps ou que le cors soit meu avec pareille vitesse dans l'eau immobile*"¹² Dans cette situation comme dans la première expérience sur les jets, "*il faudra quatre fois autant de poids pour contrebalancer l'effort de l'eau, qui aura la vitesse double en agissant contre la mesme surface de quelque corps*".

Les académiciens ne semblent pas toutefois entièrement convaincus par le rapprochement effectué entre l'*impression* subie par un parallélépipède dans un courant, et l'*effort* engendré par une colonne d'eau en mouvement sur une surface. Ces deux effets semblent certes dans les deux cas dépendre du carré de la vitesse, mais nos savants se méfient des modèles réduits proposés par Huygens, et souhaitent effectuer une nouvelle expérience qui semble "*la plus simple et la plus naturelle*"¹³, à savoir les conditions réelles d'une rivière telle que la Seine.

¹¹ *Ibid.*: T.6 (1669- Registre de physique), f° 4 r°

¹² HUYGENS, OCH: t.19, 122

¹³ GALLOYS, "PV ARS": T.6 (1669-Registre de physique), f° 55 r°

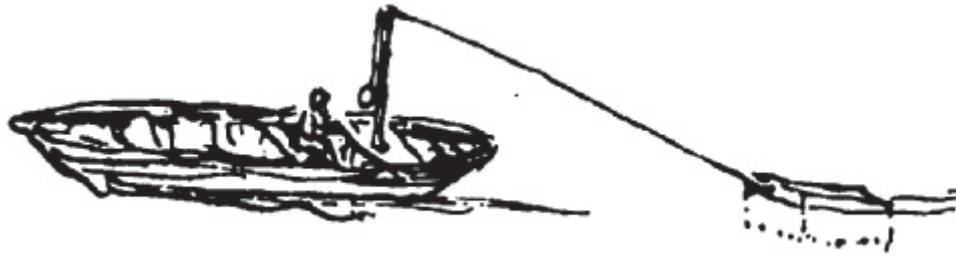


Figure 58 : Dessin de la troisième expérience sur la force mouvante des eaux présentées faites à l'Académie Royale le 24 avril 1669 - Oeuvres complètes de Huygens, t.19, p.126

01.c. LES ENJEUX TECHNOLOGIQUES D'UNE MESURE DE LA FORCE DE L'EAU EN CONDITIONS REELLES

Voici donc tous nos savants embarqués le 24 avril 1669¹⁴ pour tester un dispositif inventé par Couplet. “[...] on a porté un gros morceau de bois de chesne forme en parallélepède dont la base avait un pied en quarré et la hauteur 2 pieds, et l’ayant attache a une corde de la mesme façon que dans la deuxiesme Experience on l’a exposé au courant de l’eau, apres que ce bateau y eus testé bien arreste”. Par le moyen d’une poulie, ce morceau de bois est relié au bras d’une balance qu’on charge de poids, dans le plat de l’extrémité opposée, afin de contrebalancer l’*impression* du fluide. Résultat : 27 onces.

Par la suite, nos savants matelots se déplacent dans un courant plus fort. Ils mesurent à chaque fois la vitesse du courant en laissant aller librement le parallélépipède, au moyen d’un pendule à demi secondes. Ils trouvent alors que 114 onces sont nécessaires pour contrebalancer l’*impression* d’une eau parcourant 45 pieds en 27 vibrations (donc 3 pied 1/3), tandis que le courant faible n’avait qu’une vitesse de 45 pied toutes les 65 vibrations (donc un peu plus d’1 pied 1/3). Le rapport des vitesses, ici 65/27, si celles-ci suivaient la racine du rapport des *impressions*, selon la thèse de Huygens, devrait être égal à la racine de 114/27. Or ça n’est pas le cas, puisque si ce dernier rapport est quasiment égal à 2 ($\sqrt{4,22}$), le premier est de 2,40. La perplexité est palpable puisque Galloys rapporte à la fois que les “*forces de l’eau sont en raison double des vitesses*” comme dans les expériences précédentes, mais “*non pas fort exactement pourtant*”...¹⁵

C’est que le canot des caboteurs a subi quelques remous. Contre toute attente, “*on a trouue que l’eau de la riviere ne coule point egalelement mais avec certains roulements et*

¹⁴ D’après HUYGENS, OCH: t.19 : 120 Ces expériences sont le sujet de la séance de l’Académie du 8 mai 1669 : GALLOYS, "PV ARS": T.6 (1669- Registre de physique), f° 55 r°

¹⁵ GALLOYS, "PV ARS": T.6 (1669-egistre de physique), f° 56 r°

retours qui font que le corps qu'on tient arrêté contre le cours de l'eau en de certains temps ne tire presque point du tout la corde qui le retient, et un moment apres esleve un grand poids par son moyen, de sorte qu'on ne sçauroit dire avec certitude combien grande est la force du courant que l'on examine par cette maniere." Ce qui peut créer aussi des erreurs dans la mesure de la vitesse. Las, les académiciens proposent d'expérimenter dans un canal de largeur et de profondeur uniforme, dont on pourrait augmenter et diminuer à loisir la vitesse de l'eau. Situation rare, et mieux vaut, dit Huygens, faire la même expérience en tirant quelque morceau de bois dans un étang ou un canal dont l'eau est immobile.

Annexe 02 DESCRIPTION ET RESULTATS DES EXPERIENCES SUR
LA MESURE DE LA FORCE MOUVANTE DE L'AIR A
L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES

Entre les deux séries d'expériences précédentes, le mercredi 10 avril 1669¹⁶, la compagnie s'assemble pour parler de la force mouvante de l'air, pour laquelle Huygens, encore lui, propose une nouvelle machine, qui sera de nouveau réalisée par l'ingénieur Couplet. Elle est représentée dans les procès verbaux -Figure 59-, ainsi que dans le tome 1 des Machines et inventions approuvée¹⁷ - Figure 60-).

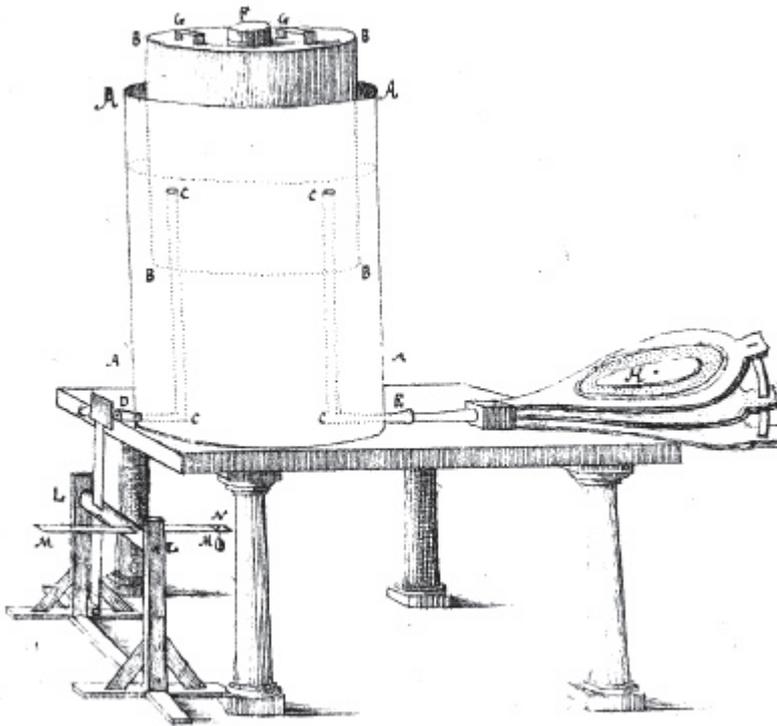


Figure 59. Machine de Huygens réalisée par Couplet, pour mesurer la force mouvante de l'air, figurant dans les PV de l'ARS, t.6, séance du 10 avril 1669 (n. pag.: entre f° 17 v° et 18 r°)

¹⁶ *Ibid.*: t.6, f° 1 r° sq

¹⁷ *Machines*: t.1:73

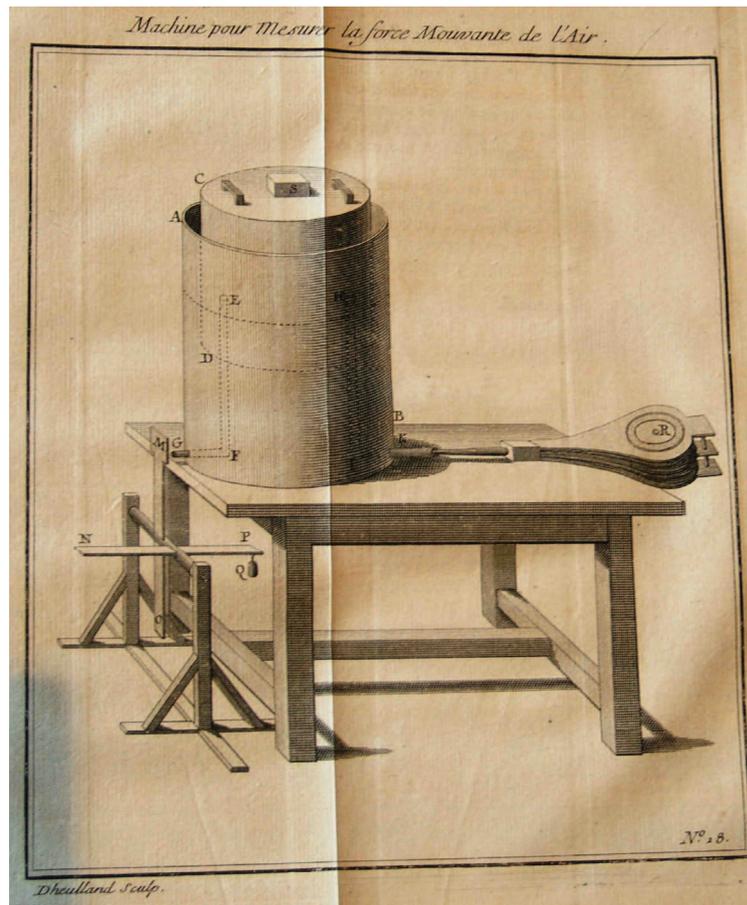


Figure 60. Machine pour mesurer la force mouuante de l'air de Huygens, reproduite dans le t.1 des volumes des Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences, p. 73

Sommairement, il s'agit d'un cylindre de fer blanc AA ouvert par en haut et contenant de l'eau, dans lequel vient baigner un cylindre retourné BB. 2 tuyaux CC permettent pour l'un de faire entrer l'air, avec le soufflet, et pour l'autre, de chasser cet air par pression du cylindre BB par des poids P. L'air s'échappe par D et vient heurter une petite palette K rattachée à un arbre LL. A une distance égale à LM pend un petit poids N, dont les savants feront varier la valeur pour éprouver l'impression de l'air sortant de D suivant différents poids P placés sur le cylindre BB. On ne peut s'empêcher d'admirer la simplicité, l'ingéniosité et la délicatesse de la machine. Soulignons aussi le rôle essentiel de Couplet dans la bonne marche des recherches de l'Académie. Niquet et Pivert ont également cette même fonction.

La machine ne sera prête que le 15 mai suivant, déposée dans la cour de la bibliothèque du Roi.¹⁸ Avec elle, les savants vont pouvoir mettre en rapport :

- les différentes forces de l'air qui soufflent par D

¹⁸ GALLOYS, "PVARS": t.6, f° 59 r°

- les poids P
- les vitesses de l'air causées par chaque pression, ce qui est facile à déterminer en prenant en considération le temps d'enfoncement de BB en supposant la conservation du débit (il faut alors considérer que l'air ne subit pas de compression).

Les résultats donnent :

Poids qui pressent le cylindre (onces) ¹⁹	Poids que soutient le vent (grains)	Temps que le cylindre mettra à s'enfoncer (secondes) de 9 pouces	Proportion des vitesses, en supposant 100 pour la première
44	12 1/5	35	100
76	19 1/2	26	135
108	27 4/5	22	149
140	38 1/4	18	194
260	72 1/11	13	269

Tableau 4 : résultats des expériences de Huygens sur la force mouvante de l'air du 15 mai 1669 (PV t.6, f°61 r°)

¹⁹ Le poids du cylindre à vide est de 44 onces

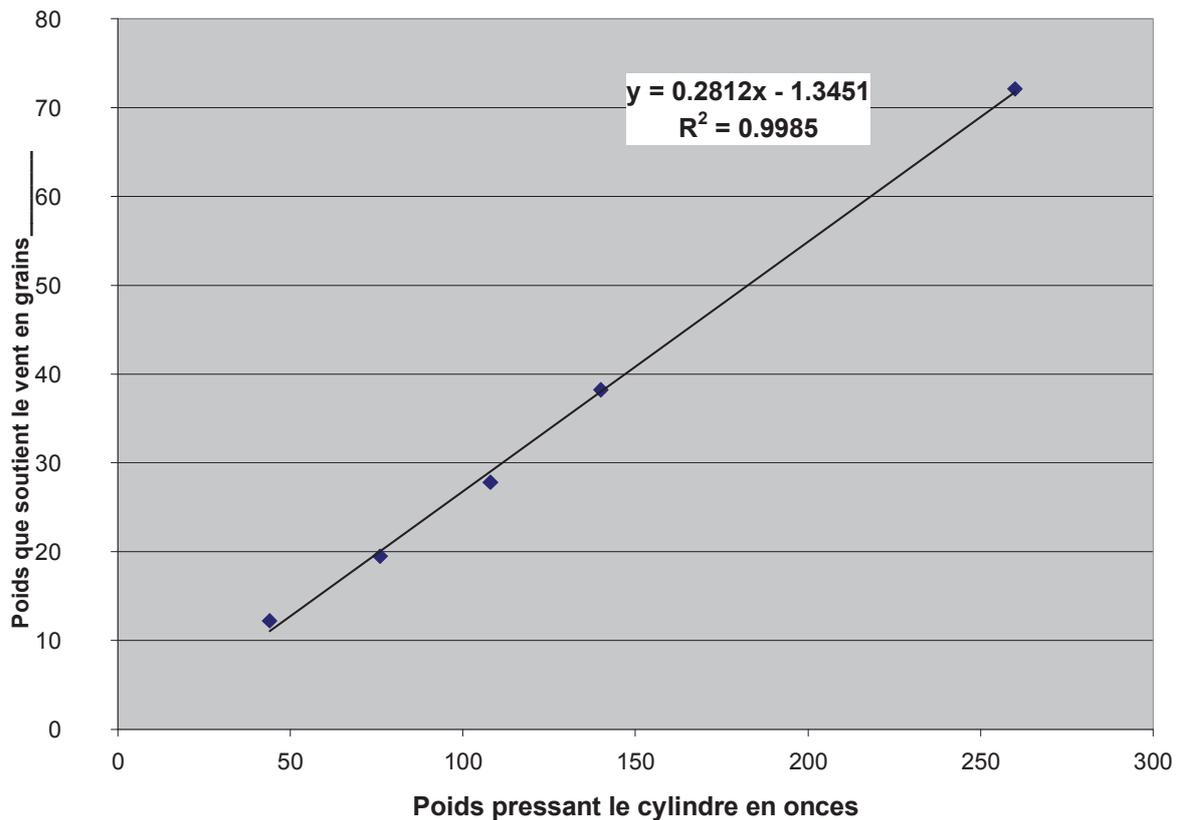


Tableau 5 : Poids soutenant le vent en fonction du poids pressant le cylindre, d'après des expériences de Huygens sur la force mouvante de l'air du 15 mai 1669

Huygens remarque que les impressions de l'air sur la palette sont exactement proportionnelles aux poids qui pressent le cylindre BB (voir notre Tableau 5²⁰), et donc “ *il en est de l'air ainsy que de l'eau, dont les impressions lorsqu'elle s'écoule par l'ouverture faicte au fonds du vaisseau qui la contient sont justement aussi en mesme raison que les hauteurs de l'eau qui pressent sur l'ouverture*”. Une analyse simple des données et une régression linéaire appliquée à cette expérience nous donne un coefficient de détermination²¹ égal à 0,998, ce qui nous montre l'excellente correspondance entre les résultats et le modèle. Huygens se veut pourtant tatillon et note les erreurs, qu'il relègue à la matérialité de l'expérience, sans préciser s'il entend par là les frottements, les erreurs de mesure, les incertitudes des instruments, etc.

²⁰ Il est bien entendu que ce graphique est de nous, et non de Huygens.

²¹ Le coefficient de détermination (R^2) est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées. La Régression Linéaire Simple (RLS) permet d'évaluer s'il existe une relation fonctionnelle linéaire entre une variable explicative (ou indépendante) quantitative x et une variable expliquée (ou dépendante) quantitative y .

Seconde remarque de Huygens: les impressions de l'air, tout comme celles de l'eau, sont proportionnelles au carré de ses vitesses. En effet, on peut le représenter graphiquement d'après les données du Tableau 4 (cf. Tableau 6).

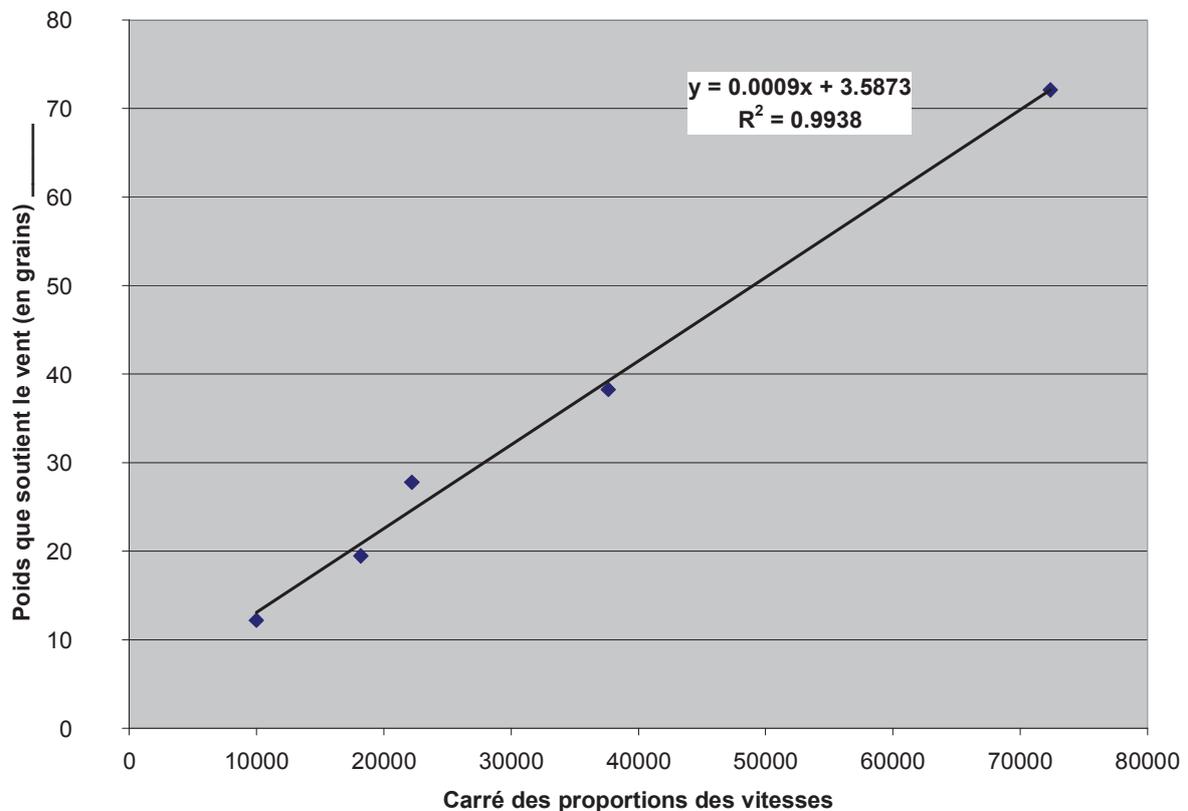


Tableau 6 : Poids que soutient le vent en fonction des carrés des proportions des vitesses, d'après des expériences de Huygens sur la force mouvante de l'air du 15 mai 1669

Le coefficient de détermination est très bon.

Autre remarque du savant protestant : dans les mêmes conditions, l'eau coulant par la même ouverture avec la vitesse de 159 pouces par seconde, soutiendrait $472 \frac{1}{4}$ grains, et l'air pour égaler cette force de l'eau, devrait avoir la vitesse de 2282 pouces par seconde (d'après la 2^{ème} remarque). Il s'ensuit que l'air "*allant par une mesme ouverture & 14 $\frac{1}{3}$ fois aussi vite que l'eau, ils feront des impressions égales*".²² Par contre, si les deux fluides ont la même vitesse contre une même surface, l'impression de l'eau à celle de l'air sera comme 205 à 1.

²² GALLOYS, "PV ARS": t.6, f^o 63 r^o

Ces bons résultats encouragent les notables de l'Académie à poursuivre les expériences le mercredi suivant, 22 mai 1669²³, en élargissant l'ouverture D d'où s'échappe l'air pour qu'elle atteigne 3 lignes de diamètre. Le bras LM est de 7 pouces $\frac{1}{2}$, et on fixe le poids N à deux gros (soit un quart d'once). Désormais, plutôt que de changer les poids, il s'agira ici de changer la distance du petit poids au centre de l'arbre EE, profitant ainsi de l'effet levier. L'intérêt d'une telle méthode, de toute évidence, est sans doute la plus grande précision attendue, celle-ci ne dépendant alors que de la mesure des distances et de l'étalonnage d'une seule masse, au lieu que dans le cas précédent une multitude de masses différentes étaient utilisées.

De la sorte, les académiciens obtiennent les valeurs suivantes :

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Poids pressant le cylindre (onces)	Distances entre le petit poids et l'axe (en lignes)	"Force absolue" exp. du souffle de l'air (en grains)	Temps pendant lequel le cylindre descend de 9 pouces (en demi s.)	Vitesses de l'air par D en posant 100 pour la première	Carré des proportions des vitesses
44	13,5	28,6	47	100	1000
76	24,5	39 $\frac{1}{5}$	38	124	1538
108	34	54 $\frac{2}{5}$	34	138	1904
140	44	70 $\frac{2}{5}$	28	168	2822
172	53	85 $\frac{3}{5}$	26	181	3286

Tableau 7: Résultats des secondes expériences de Huygens sur la force mouvante de l'air, tirées des PV du 22 mai 1669 (T.6, f° 68 v°)

Pour tester l'exactitude de la proportionnalité entre les poids pressant le cylindre et la "force absolue" du souffle de l'air, c'est-à-dire le moment du poids accroché à une certaine distance de l'axe, Huygens calculent les valeurs théoriques des forces absolues en faisant suivre à chaque valeur de la colonne 3 la proportion des poids de la colonne 1 (en prenant 28,6 grains comme valeur de référence). Il obtient ainsi :

"Force absolue" exp du souffle de l'air (en grains)	"Force absolue" théorique du souffle de l'air (en grains)
28,6	28,6

²³ *Ibid.*: t.6, f° 64 r°

39 1/5	21,6* (76/44)= 37,3
54 2/5	21,6* (108/44)= 53,1
70 2/5	21,6* (140/44)= 68,7
85 3/5	21,6* (172/44)= 84,4

Ce qui lui sert à montrer que les forces absolues de l'air mesurées sont bien en proportion avec les poids pressant les cylindres.

De la même manière, il calcule que pour faire en sorte que les force de l'air (ou les poids pressant le cylindre) suivent la proportion du carré des vitesses de l'air, il faudrait, en prenant comme référence le plus grand poids (172 onces) :

Poids théorique pressant l'air	Carré des vitesses	Poids exp. pressant l'air
172* (3286/1000) = 52	1000	44
172* (3286/1538) = 80	1538	76
172* (3286/1904) = 100	1904	108
172* (3286/2822) = 147	2822	140
172	3286	172

Cette méthode numérique permet à Huygens de juger de l'écart entre le modèle et la réalité, concernant la proportionnalité entre poids pressant l'air et carré des vitesses, qu'il estime être légèrement moins bon que précédemment.

Si on cherche à représenter graphiquement les forces absolues expérimentales du souffle et le carré de la proportion des vitesses, en fonction pour chaque cas des poids pressant l'air, on obtient :

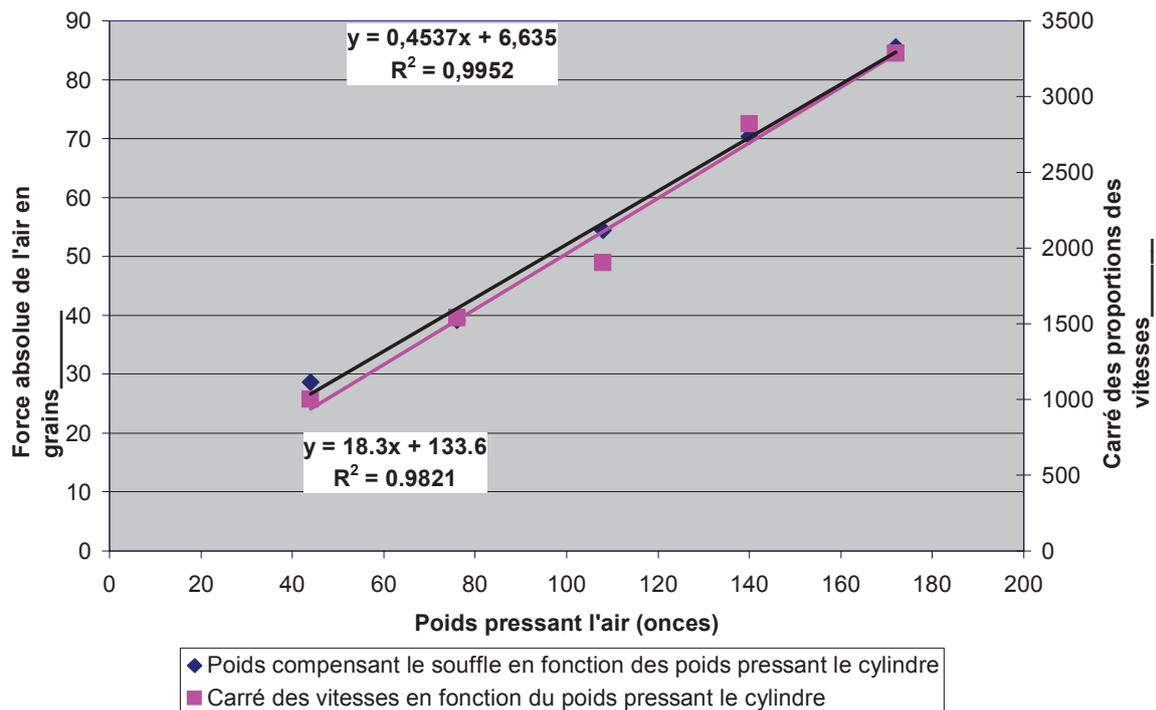


Tableau 8 : Forces absolues mesurées du souffle de l'air (en grains) et carré des proportions des vitesses de l'air en fonction des poids pressant le cylindre BB (en onces), tirés des résultats des expériences de Huygens sur la force mouvante de l'air du 22 mai 1669.

Nous parvenons bien sûr aux mêmes conclusions que Huygens. La proportionnalité de la force absolue du souffle de l'air et des poids pressant l'air est mieux avérée que celle entre carré des vitesses et ces derniers. A cet égard des carrés des vitesses de l'air, les données expérimentales relèvent un plus grand écart avec le modèle que dans ses premières expériences, contrairement à ce que Huygens semblait attendre.

Mais pour Huygens, ces expériences sont un succès : à Leibniz le 23 février 1691, il jugera avoir mesuré la proportionnalité de la résistance de l'air au carré des vitesses “par des expériences forts exactes” menées à Paris²⁴.

²⁴ *Le passage en question traite d'une dispute avec le philosophe au sujet de la définition de la résistance : “Je trouve qu'une partie de notre dispute vient de ce que vous prenez le mot de resistance dans une autre signification que moy et Mr. Newton ; car vous appelez resistance la velocity perdue ou la perte de velocity causée par le milieu, ou la velocity perdue, et en consequence de cela pour comparer des resistances differentes, vous voulez que la consideration des elemens du temps entre en compte, et qu'à parler exactement, on ne dois pas dire que les resistances sont en raison des velocitez, ni en raison des quarez des velocitez. En quoy il est evident que vous prenez l'effet de la resistance pour la resistance mesme. Mais à Mr. Newton et à moy la resistance est la pression du milieu contre la surface d'un corps, comme par exemple, quand on tient dans la main une feuille de carton, et qu'on l'agite à travers l'air, on sent une pression qui se peut comparer à celle d'un poids, et qui devient quatre fois plus grande lorsqu'on remue cette feuille deux fois plus viste qu'auparavant, ainsi que j'ay trouvé autre fois à Paris par des experiences fort exactes. Vous voiez, Monsieur qu'il n'y a que la differente vitesse dont depend cette pression, sans considerer des parties egales ni inegales des*

temps. Et c'est sans doute la véritable et la plus naturelle notion de la résistance." In HUYGENS, OCH: t.10: 19-20

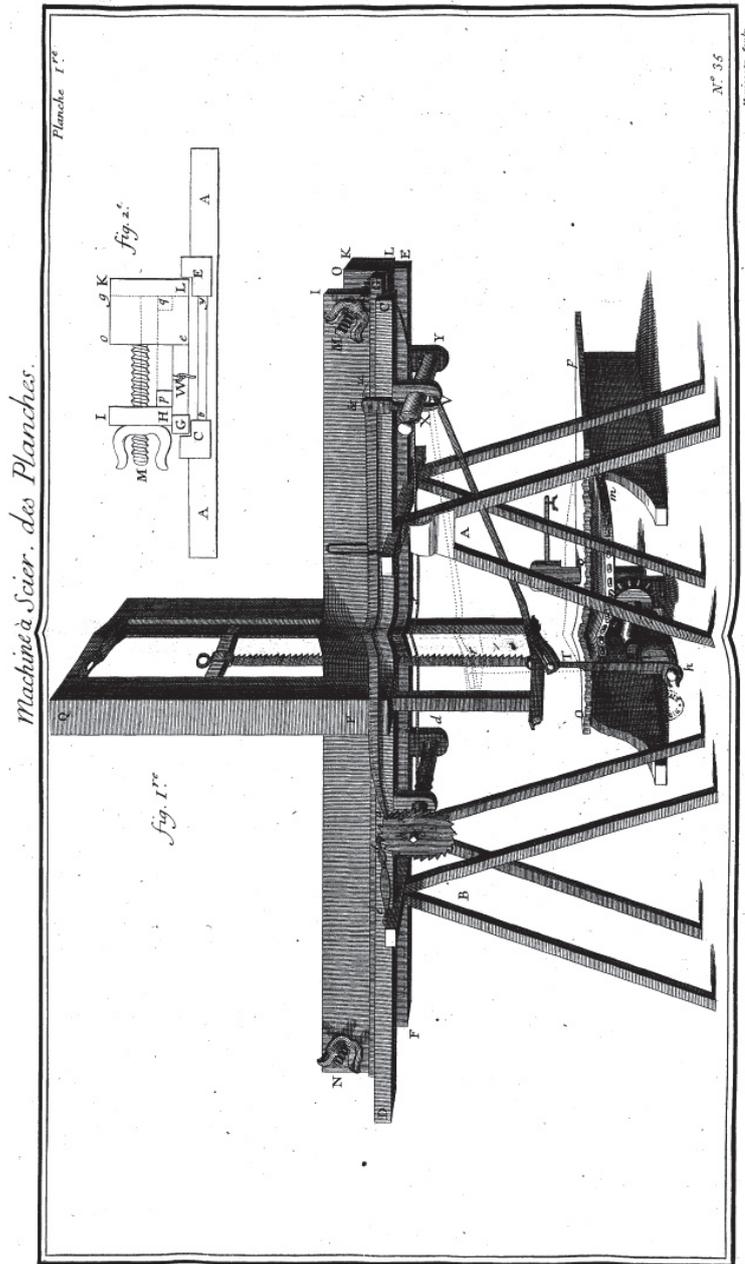


Figure 61 : Machine à scier les planches mues par la force des chevaux, de Du Quet telle que figure dans le tome I des Machines approuvées p. 115.

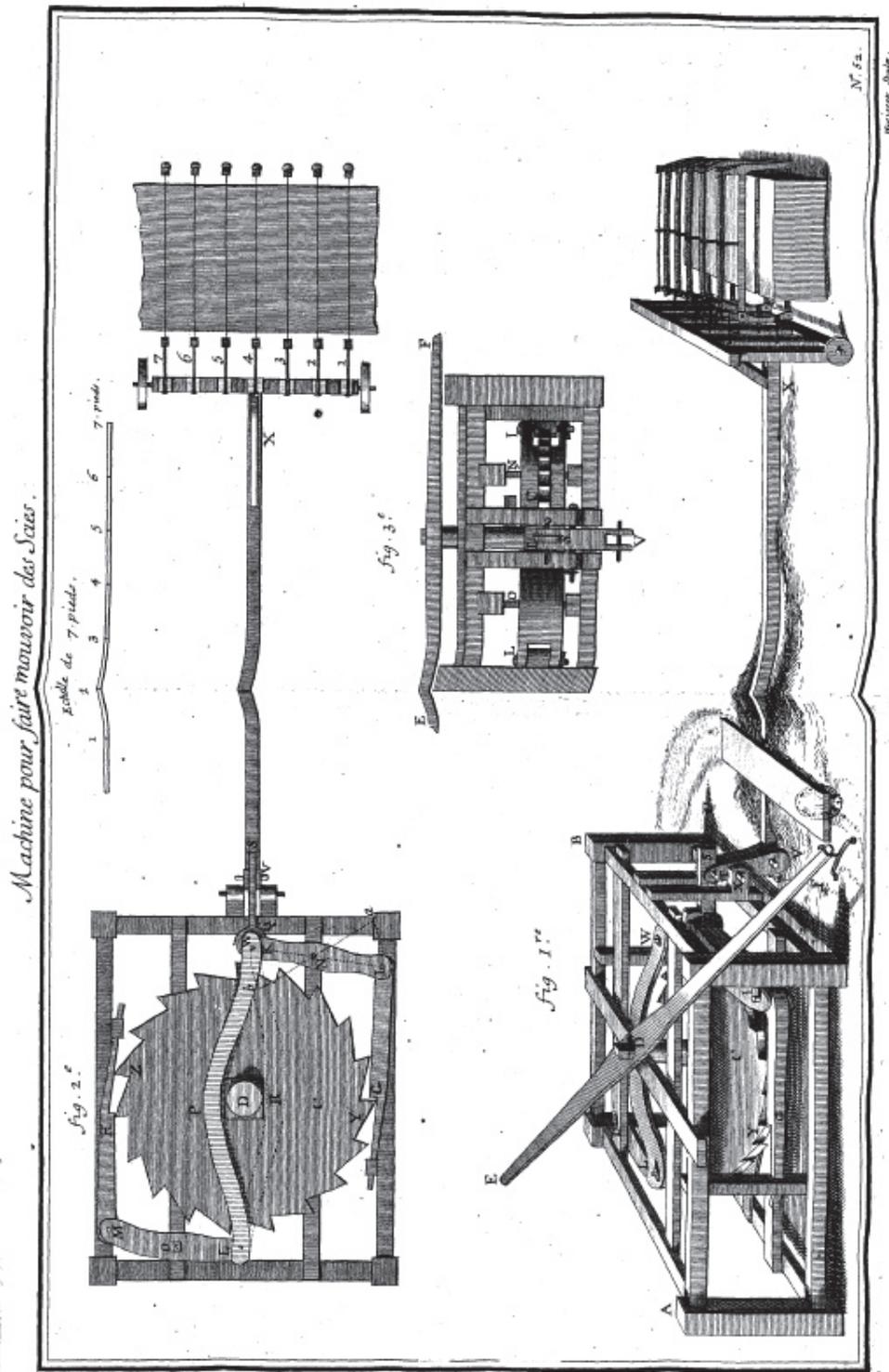


Figure 62 : Machine pour faire mouvoir de six à sept scies, mue par les chevaux, approuvée en 1699 et figurant dans le tome I des Machines, p. 168.

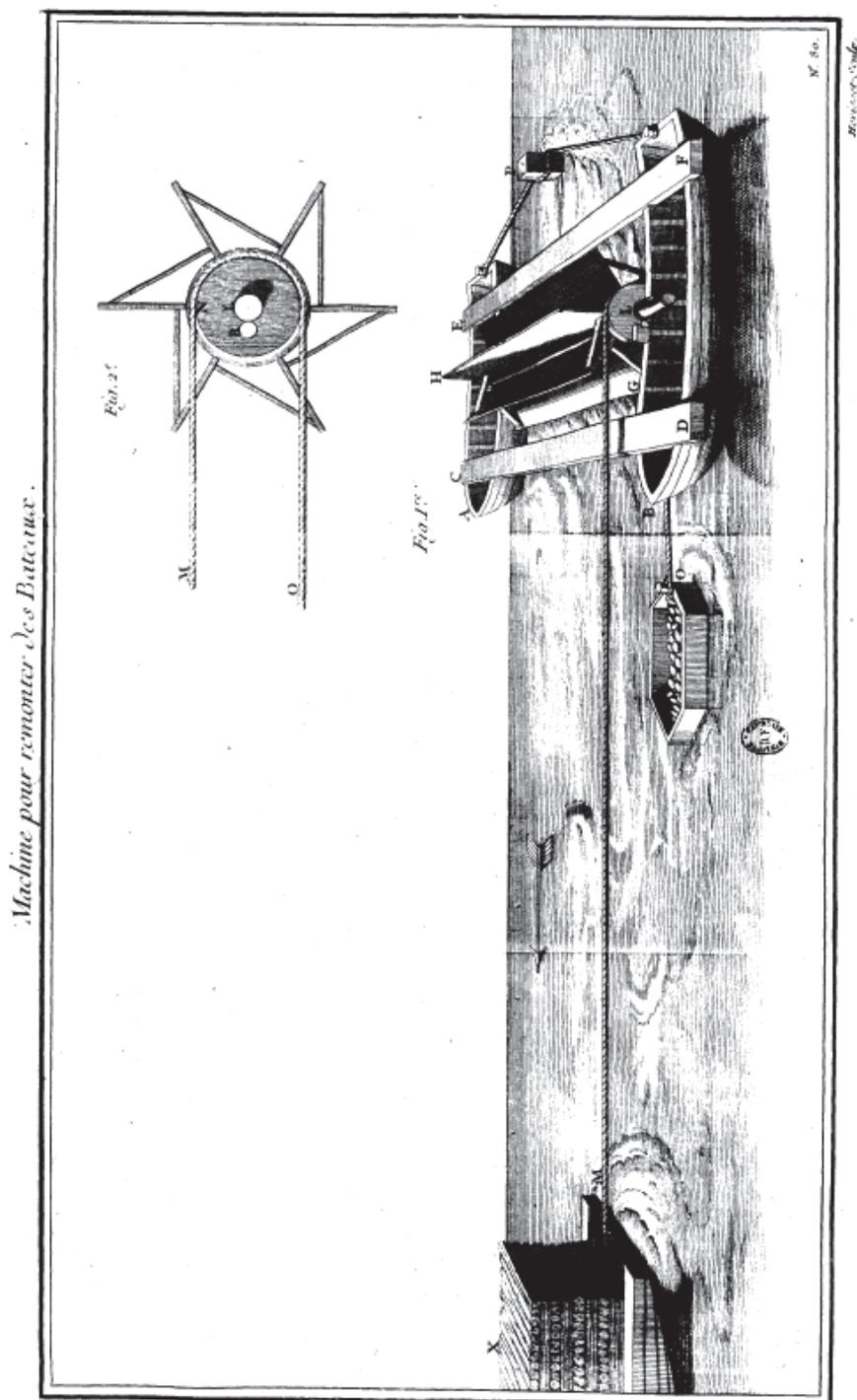


Figure 63 : Machine à remonter les bateaux de Du Quet, approuvée par l'Académie en 1702, telle que figurant p.34 du tome 2 des *Machines*.

Cette machine (Figure 63) est composée deux bateaux A et B liés ensemble par leurs extrémités avec les traverses CD et EF, et attaché à un point fixe P situé dans la rivière. Une roue GH posée entre ces deux bateaux et dont l'arbre est posé sur les bords de ceux-ci, expose ses ailes au courant. De la sorte, le courant devient le moteur de toute la machine, de par la force exercée sur les ailes et par l'entraînement du batelet O lesté, attaché à la même corde. Pour faire remonter le bateau plus haut dans le courant, il suffit de disposer une machine identique plus loin. Concernant le petit batelet, on lui fera reprendre sa position d'origine tout simplement en faisant passer la corde au dessus de la roue au lieu d'en dessous comme précédemment, et en tirant à bras par son autre extrémité la corde ainsi dévidée.

Annexe 06 MACHINE A REMONTER LES BATEAUX DE PARENT
(1699)

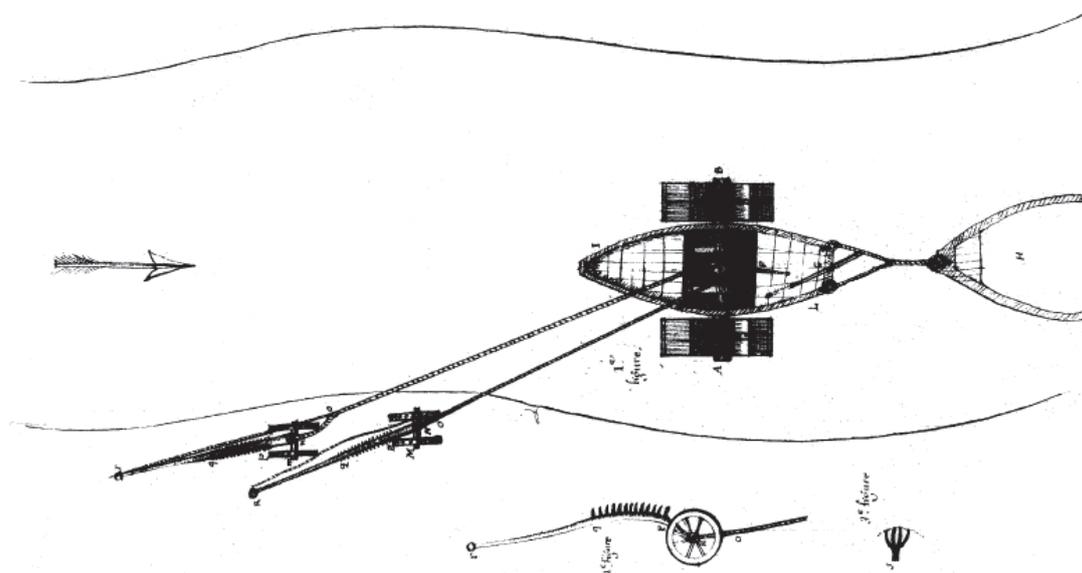


Figure 64 : “Machine pour faire remonter des vaisseaux contre le courant d’une rivière par la rivière même”, proposée par Antoine Parent au cours de la séance du samedi 21 novembre 1699 à l’Académie royale des Sciences, et figurant f°513 v° du 18^e tome des PVS (1698-99).

Il s’agit d’un vaisseau portant deux moulins A et B fixés sur un même essieu AB. Entre ces deux roues, et à équidistance du centre, se trouvent deux roues dentées D et E, dont l’axe est aussi l’essieu AB. Leurs dents sont horizontales et actionnent une troisième roue (une lanterne) horizontale sur lequel est fixé un tambour. Autour de celui-ci, une corde enroulée « en retraite » autour du tambour, c’est-à-dire de sorte que s’accourcissant d’un côté, elle s’allonge de l’autre. De la sorte on a besoin d’une corde deux fois plus longue que celles qu’on utilise ordinairement par la traction à l’aide de chevaux ou d’hommes. La lanterne va engrener alternativement dans les deux roues dentées, grâce à un levier, de sorte à avancer progressivement, sachant que les deux extrémités de la corde sont reliées à deux trains faits de deux roues mobiles de la grandeur de celles d’une charrue et d’un timon long de 15 pied environ. La fonction de ces deux trains, immobilisables dans le sol, et de fournir des points fixes alternativement.

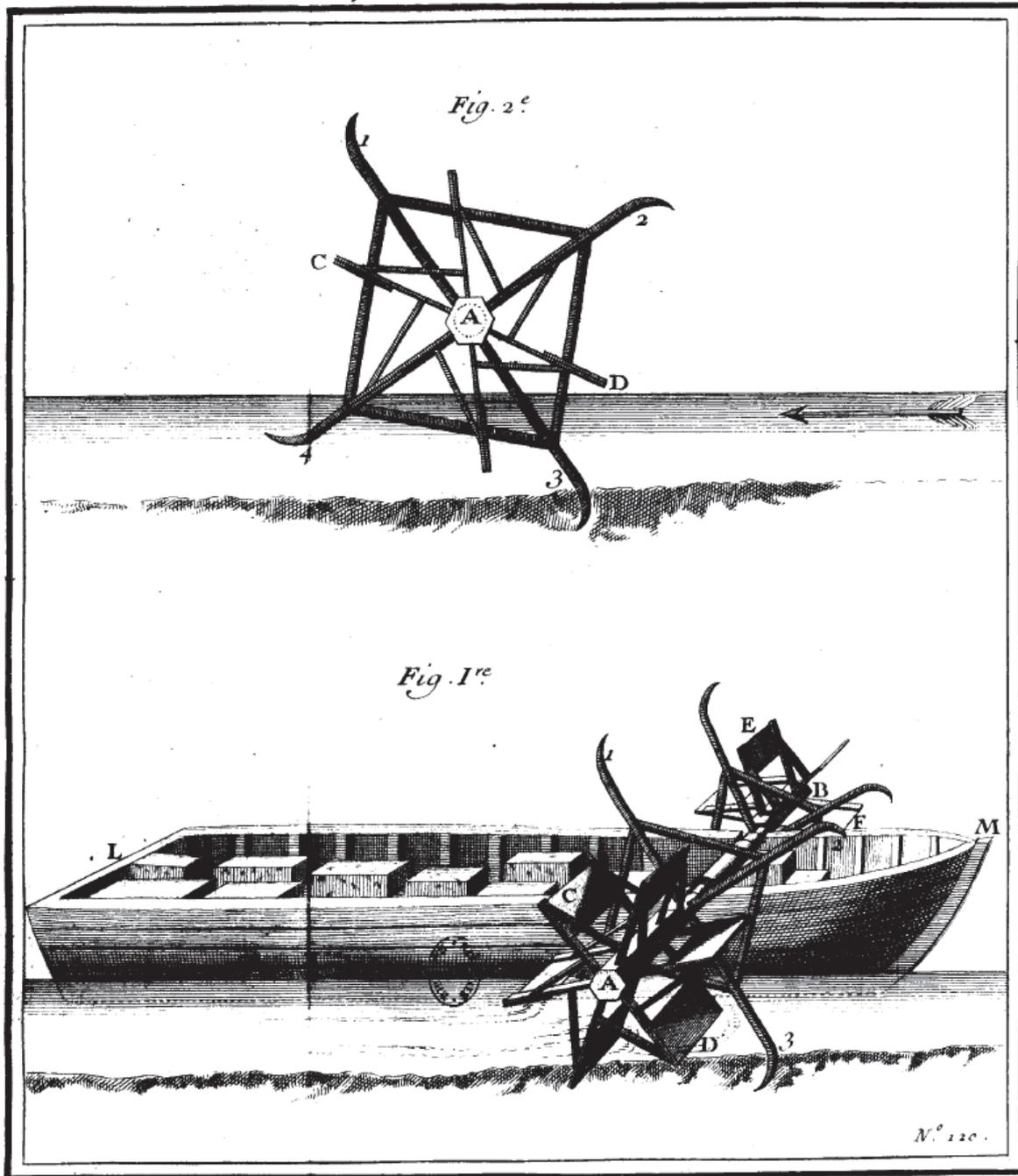
Machine pour Remonter les Bateaux.

Figure 65 : Machine pour remonter les bateaux de Lavier, approuvée par l'Académie en 1707, telle que figurant p.142 du tome 2 des Machines.

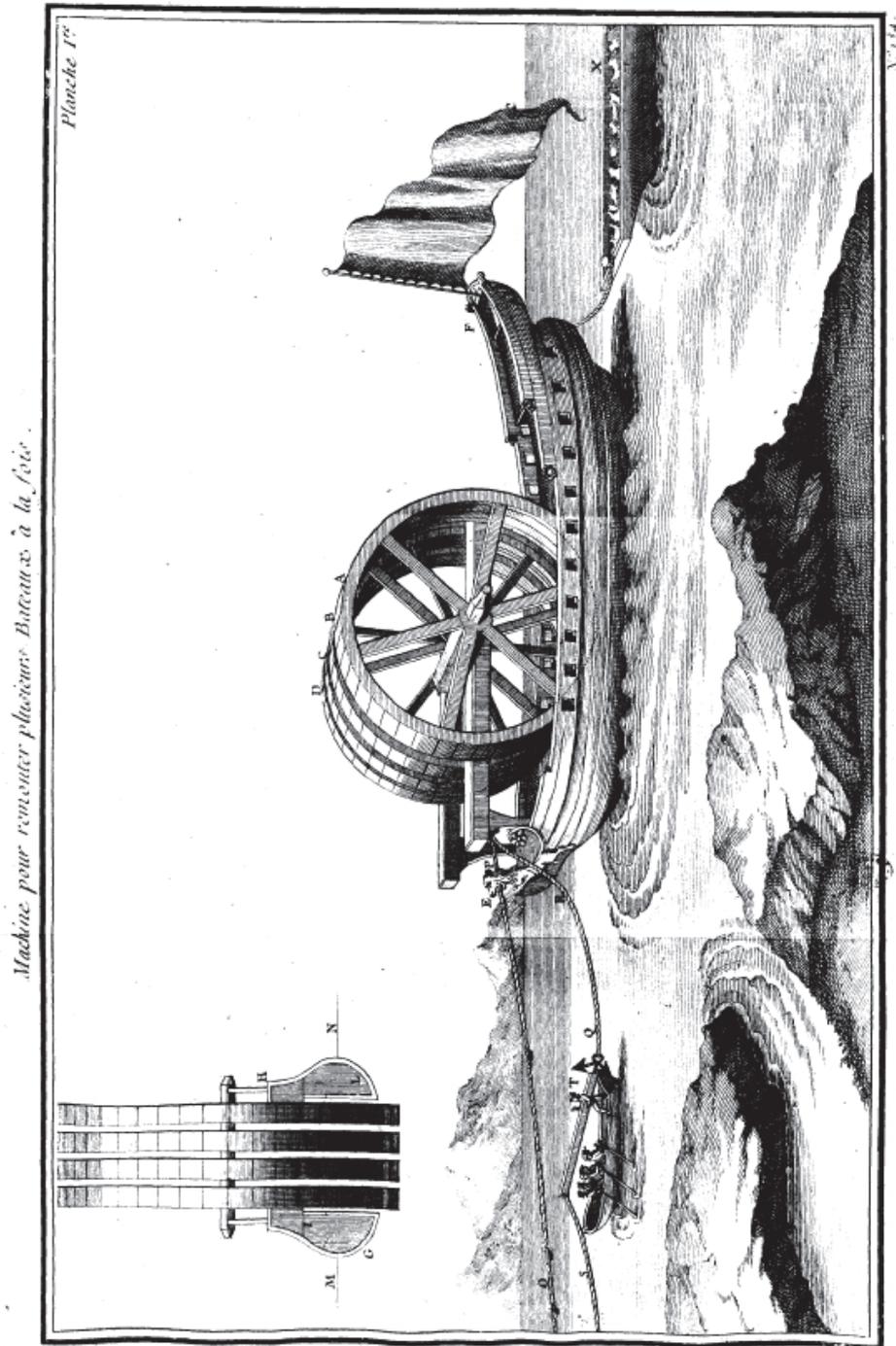


Figure 66 : Machine à remonter les bateaux de Chabert, approuvée par l'Académie en 1710 figurant dans le tome II des *Machines*, p. 180 (Planche première)

Plan de la Machine à remonter les Bateaux.

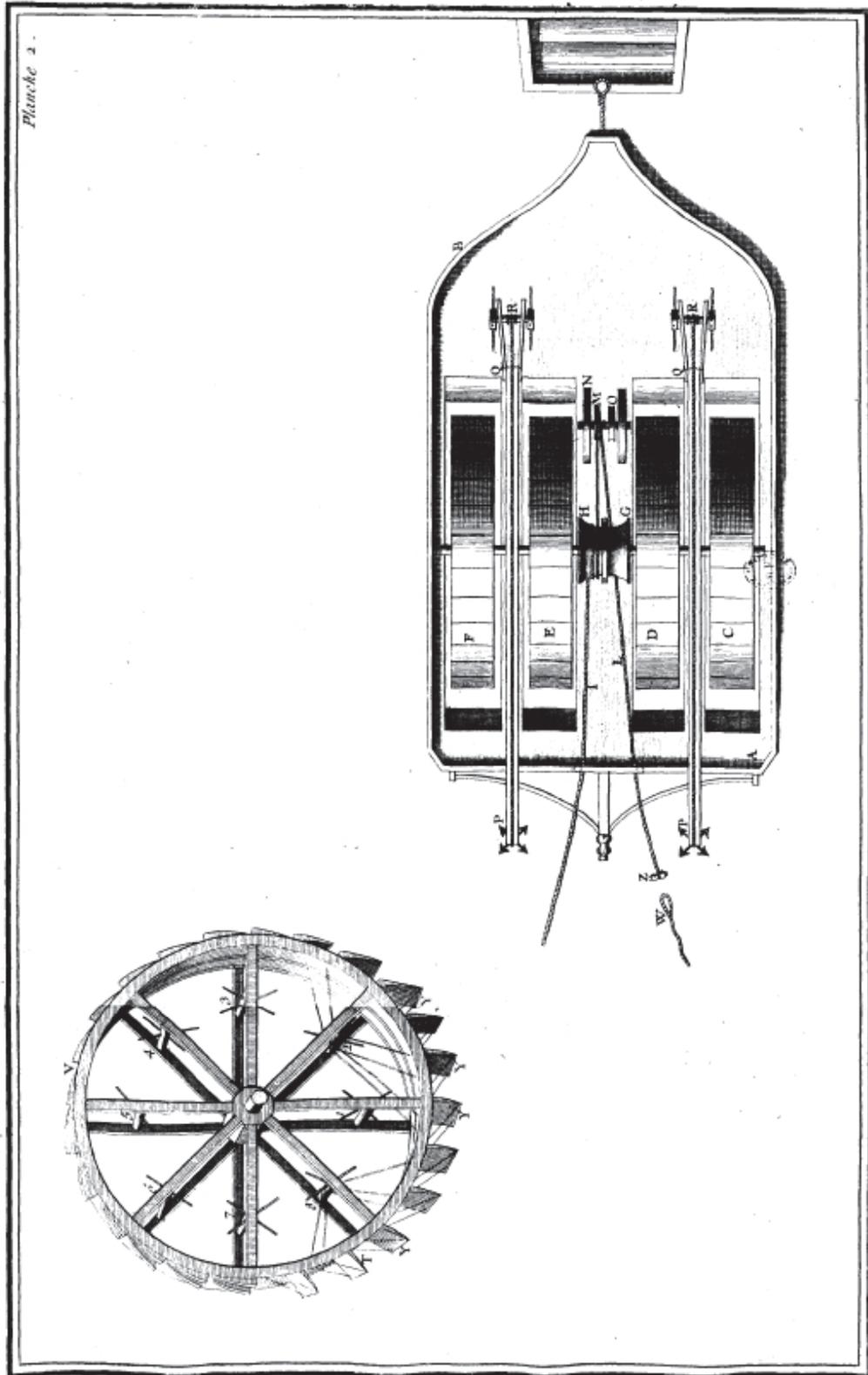


Figure 67 : Machine à remonter les bateaux de Chabert, approuvée par l'Académie en 1710 figurant dans le tome II des *Machines*, p. 180 (Planche seconde)

La machine se compose de quatre roues de moulins portées sur un grand vaisseau dont le fond est percé de sorte que seules les extrémités des roues dépassent de la carène. Des haubans rétractables (nommés Y sur la figure de gauche de la Figure 67) permettent aux roues d'être entraînées par la force de l'eau. Les roues sont jointes au même arbre, et sur celui-ci, entre la seconde roue D et la troisième E, est disposé un tambour GH (même figure), où passe une corde, se dévidant ensuite via la poulie M. Cette corde, nommée OP sur la Figure 66, est reliée à un point fixe de sorte que le mouvement de la roue entraîne tout le vaisseau, et les bateaux attachés à lui, vers ce point fixe. Dans le même temps, l'autre extrémité de la corde QR se dévide. Cette corde est rattachée à une ancre déplacée dans un premier temps sur une chaloupe dont le mouvement est lui-même assuré par un cheval à terre attelé à la corde S. Une fois que les roues sont parvenues au bout de la première corde, l'ancre est jetée dans la rivière, offrant ainsi un second point fixe permettant à son tour la remontée du bateau par la force mouvante de l'eau. Les haubans desquels on a parlé font également de freins lorsqu'on les rétracte. En alternant ces deux moyens, et en prenant des points fixes réguliers à terre, Chabert affirme pouvoir ainsi remonter de nombreux bateaux de concert.

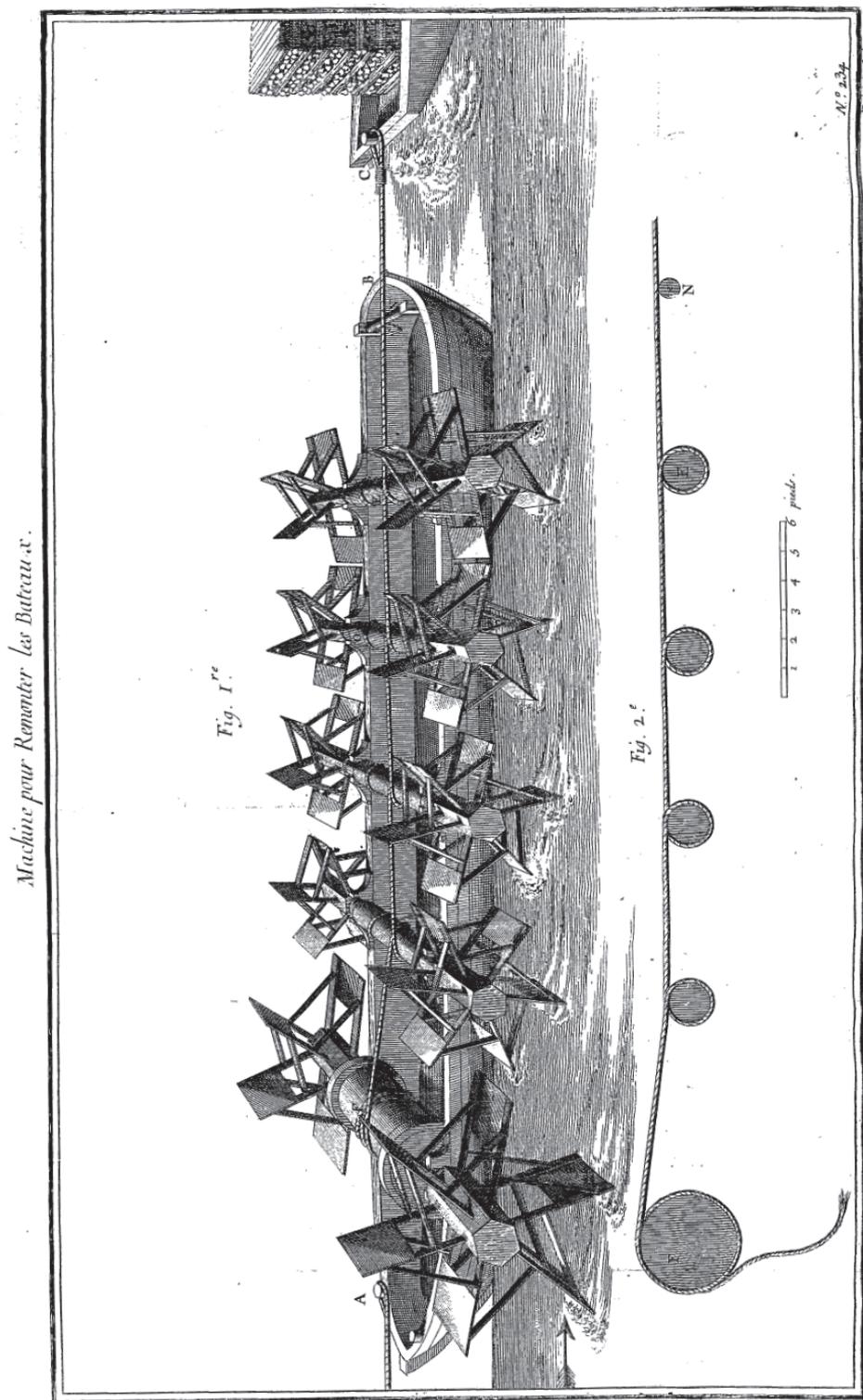


Figure 68 : Machine de Drouet pour remonter les bateaux, approuvée par l'Académie en 1722 (tome 4 des Machines, p. 45)

Annexe 10 MACHINE A FAIRE JOUER LES POMPES D'UN NAVIRE
 PAR SA MARCHE MEME, DE DU QUET (1707)

Moulin placé au côté d'un Vaisseau pour faire jouer des Pompes.

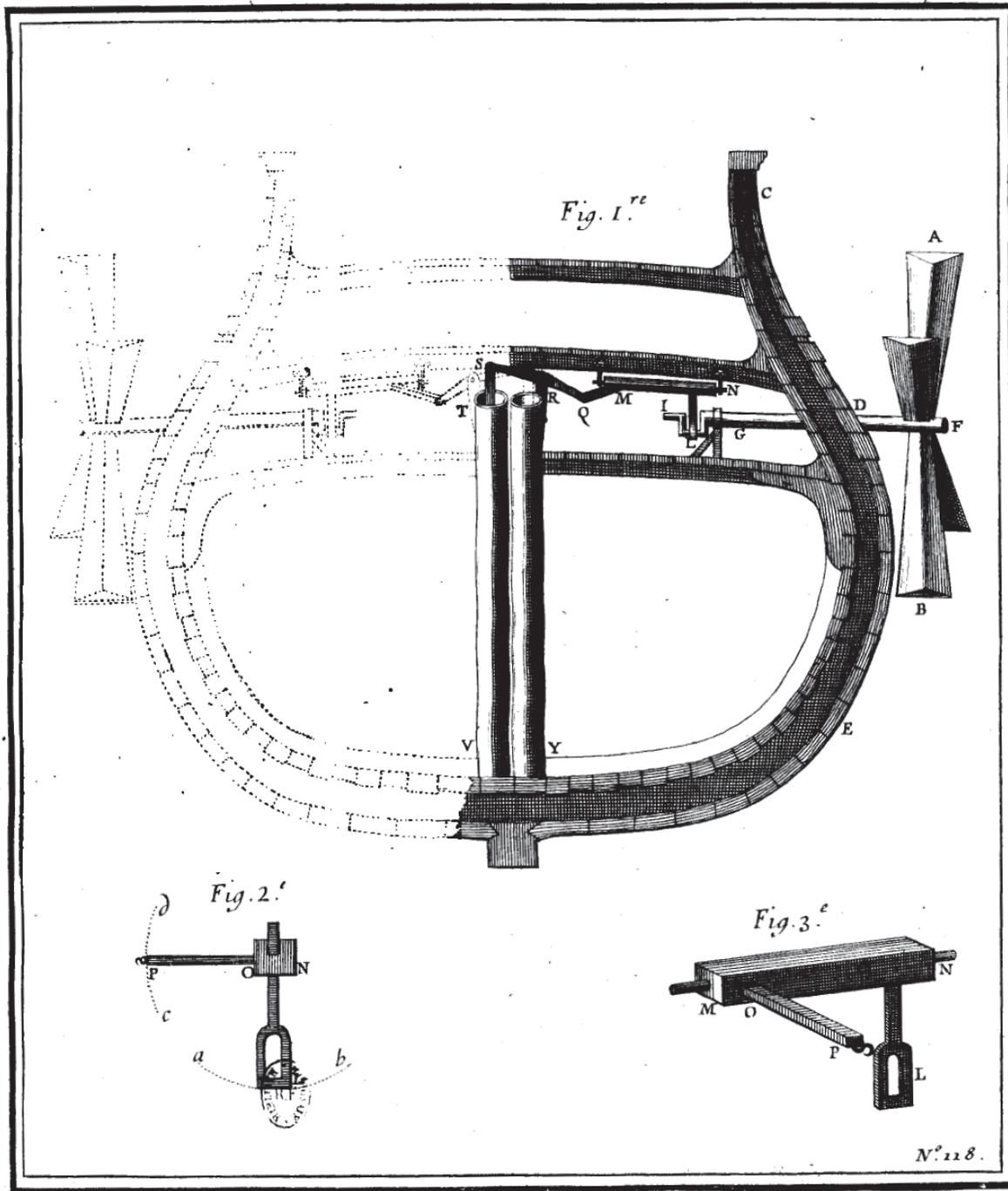


Figure 69 : Moulin à faire jouer des pompes de Du Quet (Tome 2 des Machines, p. 136)

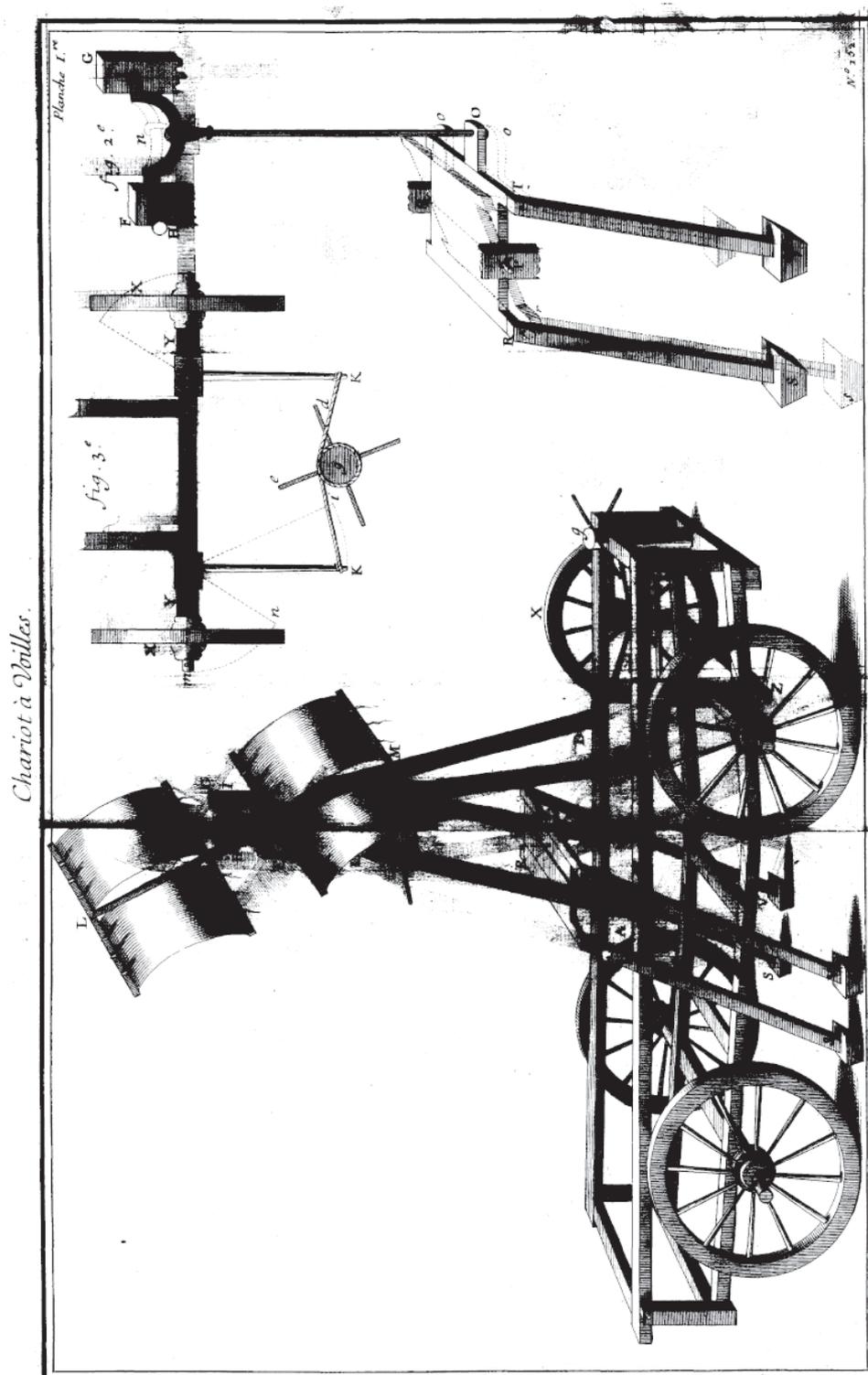


Figure 70 : Premier chariot à voiles de Du Quet, approuvé en 1714 à l'Académie (figure tiré du tome III des Machines, p. 36)

Le petit moulin à voiles sert à entrainer un système bielle-manivelle (en haut à droite de la même figure), permettant ainsi de transformer le mouvement de rotation du moulin en un mouvement rectiligne alternatif d'une tige de fer. Celle-ci est reliée à l'extrémité d'une planche (en bas à droite de la même figure). Cette planche peut basculer autour d'un axe de rotation dirigé vers le lecteur. De la sorte, cette planche étant attachée à quatre pattes de bois inclinées vers l'arrière, le mouvement alternatif de la tige de fer entraîné par le système bielle manivelle permet à tout le véhicule de s'arc-bouter successivement sur les deux pattes arrières puis les deux pattes, provoquant ainsi le mouvement du chariot. En somme, le principe de ce chariot est de pousser alternativement des perches dans le sol vers l'arrière, afin d'obtenir en réaction un mouvement vers l'avant.

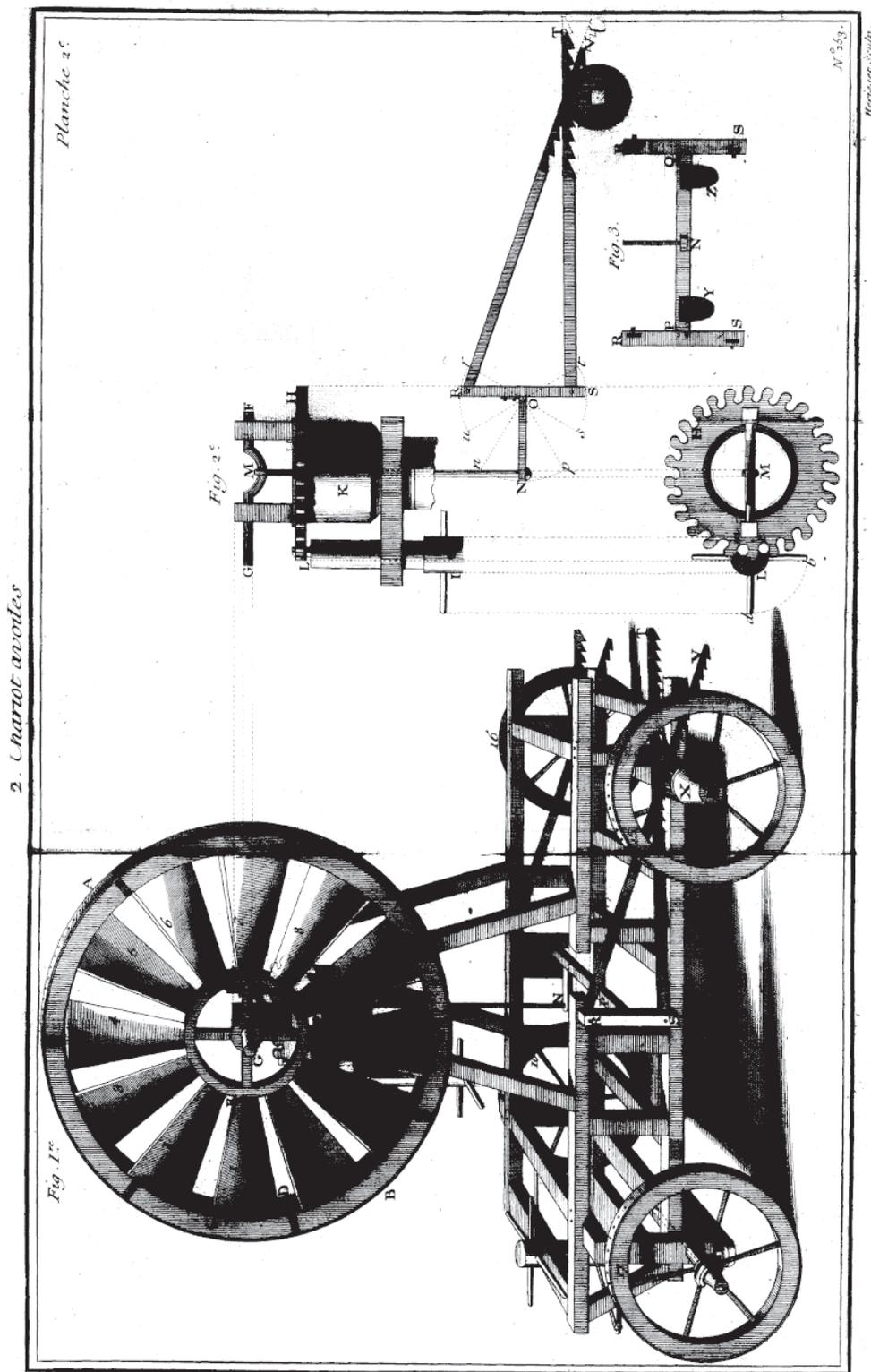


Figure 71 : Second chariot à voiles de Du Quet approuvé en 1714 à l'Académie (figure tiré du tome III des Machines, p. 40)

Les ailes du moulin, au nombre de douze, sont cette fois maintenues entre deux cercles concentriques de bois, afin de faciliter leur mobilité. Il actionne toujours un système bielle-manivelle. La tige MN se trouve ainsi mue d'un déplacement de haut en bas alternatif. L'extrémité N de la tige est reliée à une planche de bois de sorte que l'angle entre MN et NO varie au cours du mouvement, tandis que le point O, fixe, permet la rotation des parties RS et NO, ces deux parties étant toujours perpendiculaires entre elles. Ainsi lorsque MN descend, le point R se retrouve en u, et S en t. RV est un bout de bois terminé par des dents en cliquetis, permettant la rotation du moyeu de la roue (qui porte une lanterne, c'est-à-dire une sorte de roue dentée). Alors, le point R allant vers u, RV engrène dans la lanterne et fait ainsi tourner la roue du véhicule, tandis que ST, du fait du cliquetis, ne donne aucun mouvement. Inversement, quand MN remonte, R se trouve en r et S en z, et c'est alors à ST d'engrener dans la lanterne faisant ainsi avancer le véhicule de droite à gauche.

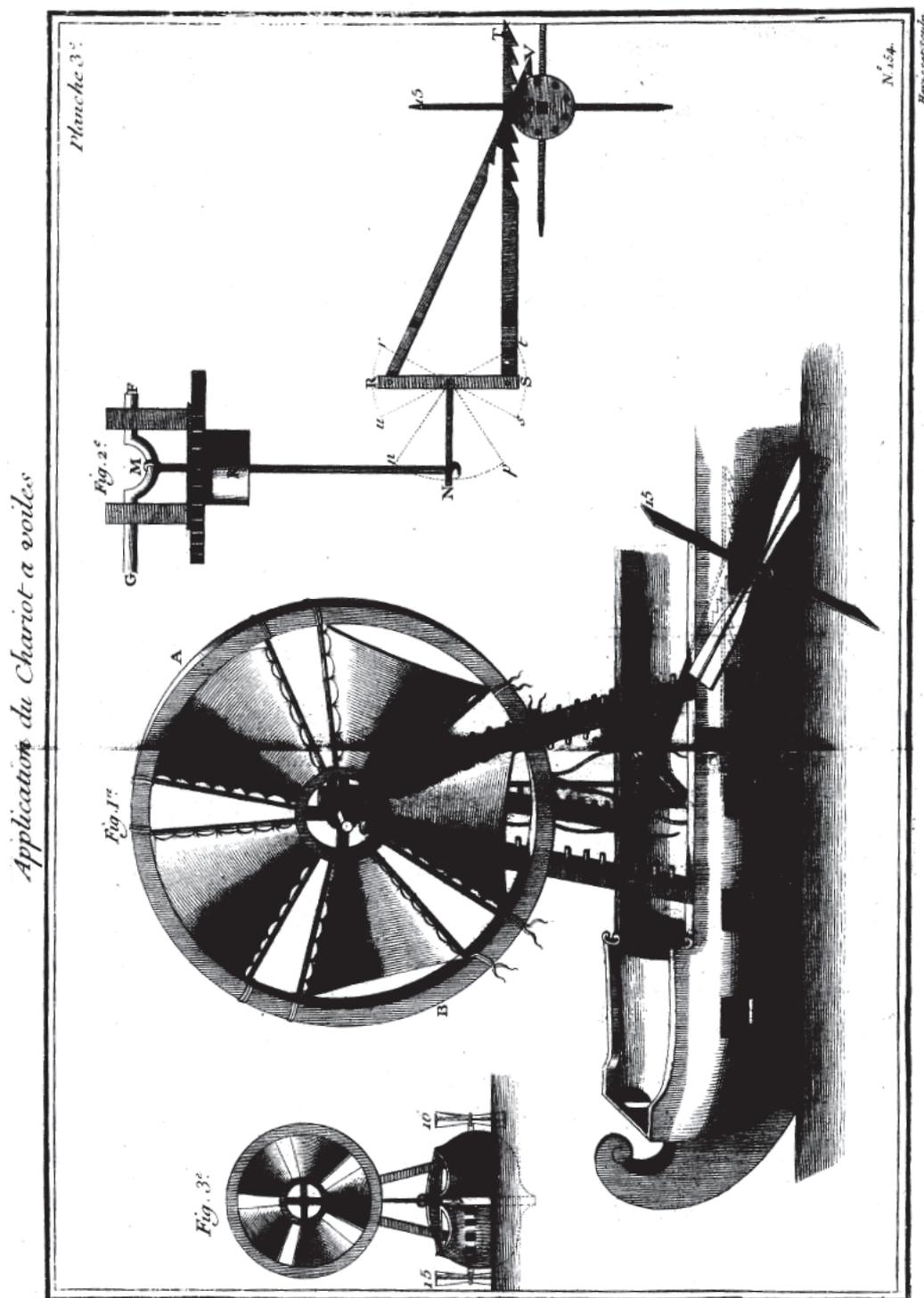


Figure 72 : Application de la mécanique du chariot à voile de Du Quet à un vaisseau, approuvé en 1714 à l'Académie (figure tiré du tome III des Machines, p. 42)

Annexe 14 TOMBEREAU EOLIEN (1714)

Tombereau qui se Charge et qui marche par le moyen du Vent.

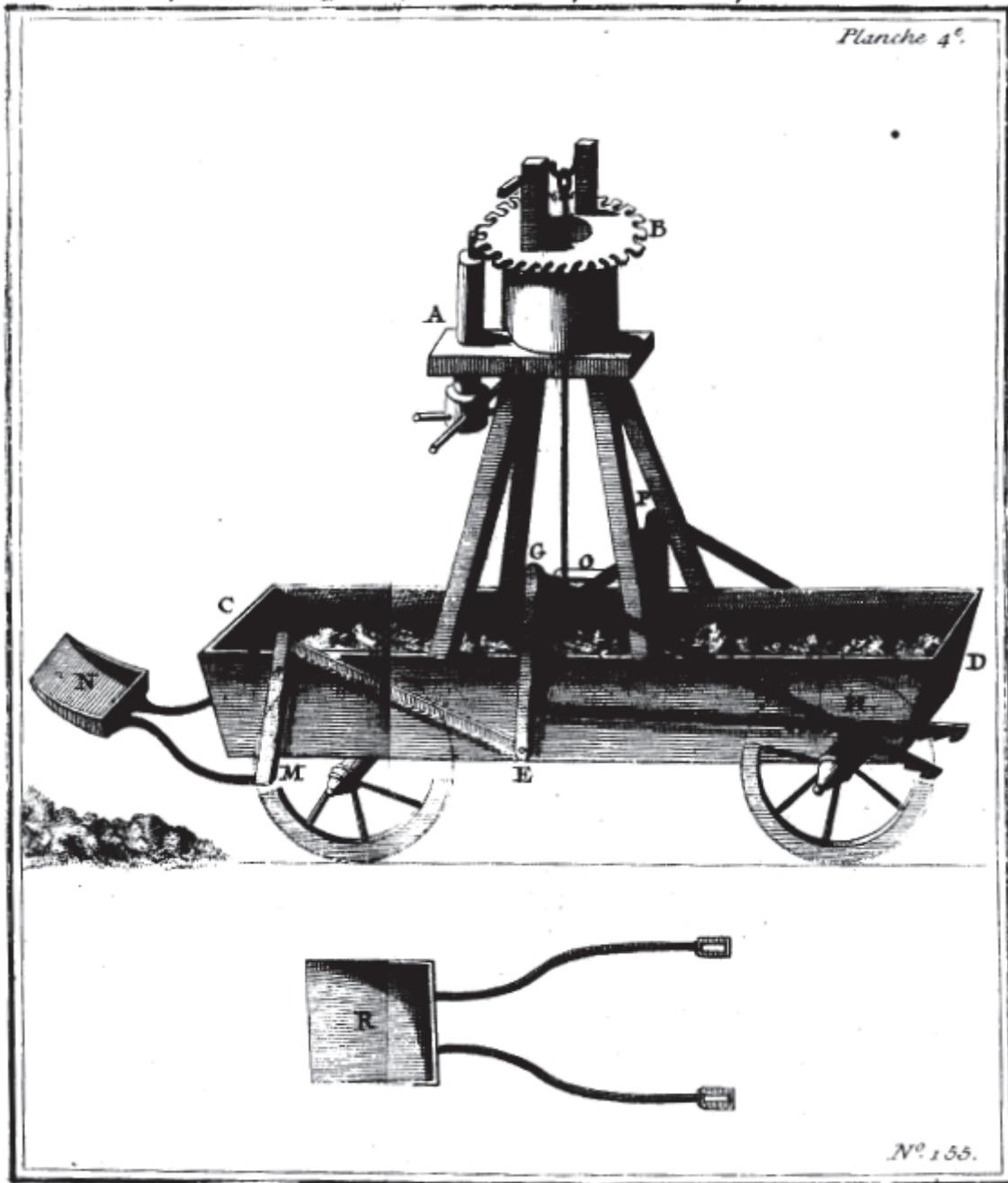


Figure 73 : Tombereau qui se charge et qui marche par le moyen du vent approuvé en 1714 à l'Académie (figure tiré du tome III des Machines, p. 45)

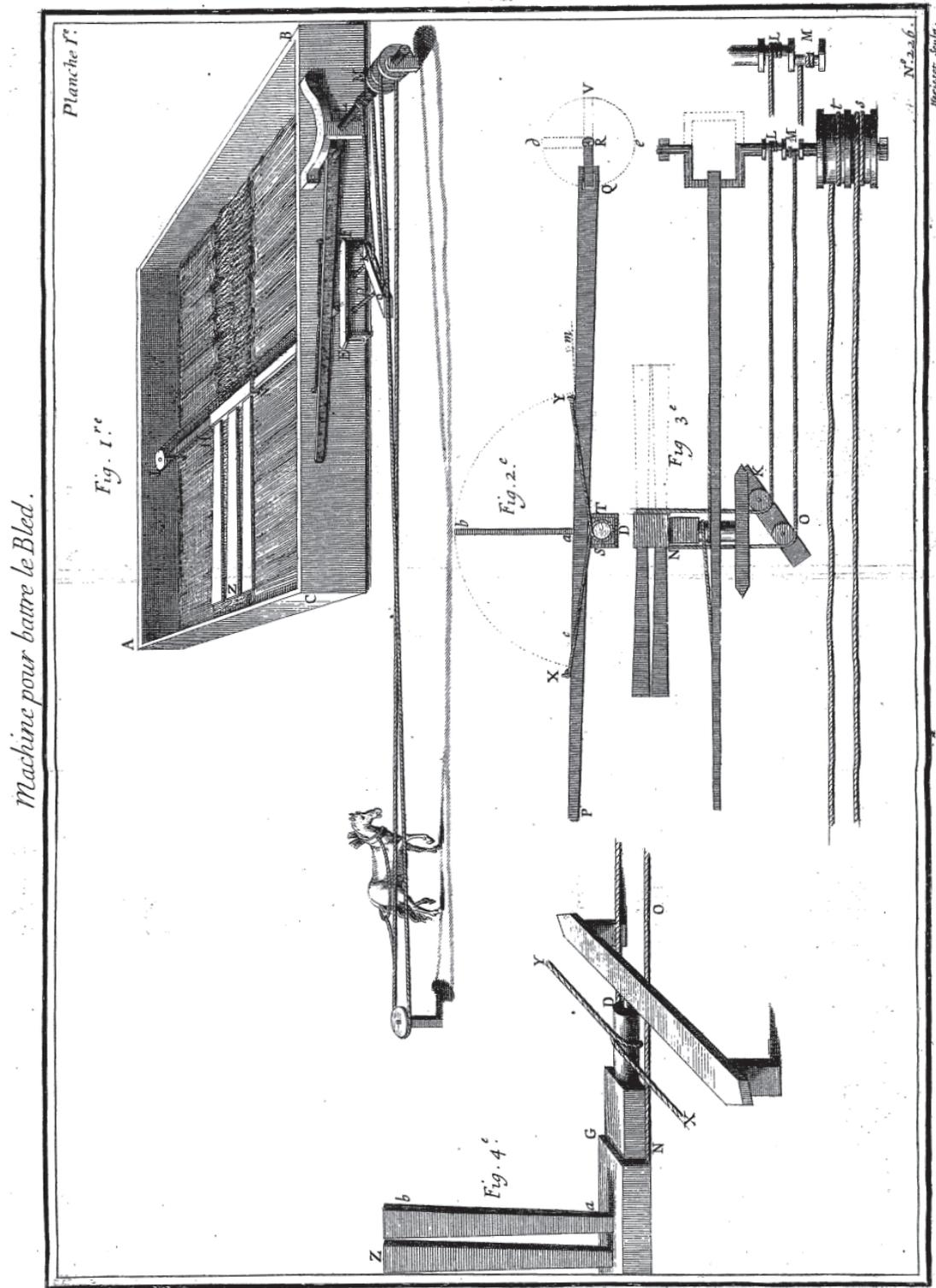


Figure 74 : “Machine pour battre le bled que l’on peut employer au lieu de batteurs en grange” telle qu’apparaissant dans le tome 4 des Machines, p. 30

Annexe 16 OBSERVATIONS FAITES A PARIS EN 1694 SUR LA
FORCE NATURELLE DES HOMMES ET DES CHEVAUX

1714, 18 août (A Paris)

Observations faites à paris en 1694 sur la force naturelle des hommes et des chevaux.

SOURCE DU TEXTE

Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Pochette de séance 1714

[En marge, notation ultérieure] 18 août 1714 Plumitif Forces hommes et
chevaux

[En marge, notation ultérieure] SEBASTIEN

De Marly le 29^e juillet 1714

Observations faites à paris en 1694, sur la force naturelle des hommes et des chevaux.

L'occasion nous ayant procuré quantité de boulets de canon du poids de 24, de 8, et de 4 ; nous nous en servimes a faire plusieurs expériences.

Nous disposames d'abord d'une poulie d'environ 6 po<uces> de diam<ètre> fixée sur son arbre, de 7 ou 8 pouces de long¹ d'acier tourné et dont les pivots n'avoient pas 4 lig<nes> de diam<ètre> sur 6 lig<nes> de long. Cette poulie tournoit dans un chassis de fer dont les trous estoient rebouche de laton, elle estoit si bien ajustée que peu de grains la fesoient tourner aisement, elle fut fixée sur le milieu d'un puit ont on avoit osté la margelle, afin que la direction du tirage fut a peu pres a la hauteur des traits d'un carosse.

On fit ensuite quelques sacs de grosse toile pour mettre les boulets. On en mit d'abord un de 24 livres que l'on attachat au bout d'une longue corde bien faite de 6 lig<ne> de diamet<re>. On descendit ce boulet dans le puit et au bout de la corde a environ 7 ou 8 pi<eds> du puit on attacha une sangle ou bricole pour pouvoir la mettre en escharpe et tirer en marchant le boulet, plusieurs personnes firent l'essay et trouverent qu'un pareil poid se pouvoit tirer aisement, il y eut quelqu'un qui crut pouvoir tirer le double, mais ayant augmenté

¹ de 7 ou 8 pouces de long par surcharge

[f° suivant]

seulement d'un poid de 4 livres, plusieurs ne le purent monter qu'en faisant de grands efforts, il se trouva un petit homme qui enlevait jusqu'à 32 livres, ce qui nous fit conclure que le boulet de 24 et le sac mouillé estant tiré sans effort par tous ceux qui se presenterent, faisant environ un poid de 25 livres pouvoit estre estimé la force d'un homme ordinaire.

Nous mimes dans² un autre sac³ 6 boulets de 24 et l'on attacha au bout de la corde les traits d'un cheval de chaise de Mr Sauveur, le cheval monta ce poid fort aisement, on ajouta ensuite un 7.me boulet, et le cheval parut en avoir asses, quand il fut arrivé au terme on voulut le faire reculer pour reiterer l'experience, mais le fardeau l'ayant élevé presque a le renverser 8 hommes qui suivoient expres se jetterent sur la corde et descendirent le poid aisement, l'on reitera plusieurs fois la même chose avec les memes precautions, et enfin l'on ajouta encore un boulet de 24 et un de 8 ce qui faisoit 200 liv<res> pour lors le cheval ne sentant point son fardeau en mouvement, apres plusieurs sacades ne voulut plus tirer, ce qui nous fit prendre la

<f° suivant>

résolution de nous servir pour faire cette experience d'un cheval accoutumé a tirer les basteaux, nous n'avons pas eû depuis l'occasion de refaire ces experiences ;

Nous avons observé que 7 hommes tirent le même poid qu'un cheval et avec la meme facilité qu'un homme seul tire celui de 25 livres. Six hommes choisis ont tiré le poid que nous donnons a un cheval, mais il [*sic*] ne pouvoient pas agir longtems.

Voicy les réflexions que nous avons tirer [*sic*] de ces experiences.

1° Dans l'examen que l'on fait des machines ou l'on employe la force des hommes il ne faut jamais estimer leur force qu'a 25 li<vres> au plus, encore faut il bien desduire les frottemens qui se trouvent dans la composition de la machine.

2° quand on employe des chevaux pour moteurs il ne faut estimer leurs efforts que 175 livres au plus les frottemens , pesanteur,⁴ deduits.

3° toutes les machines ou les efforts sont egaux et continus fatiguent beaucoup les hommes, il ne faut dans ces cas la leur donner qu'environ 15 livres pour faire qu'ils puissent continuer du tems.

L'homme s'accomode mieux des mouvemens alternatifs.

² dans par surcharge

³ sac suivi d'un mot rayé non lu

⁴ pesanteur, suivi d'un mot non lu

ANNEXES DU CHAPITRE 2

Annexe 01 ENQUETE BIOGRAPHIQUE SUR L'ACADEMICIEN GUILLAUME AMONTONS (1663-1705)

"[...] e sembra anche ridicolo parlare di vivi e morti."
(Eugenio Montale, Tutte le poesie, Milano: Arnoldo
Mondadori Editore, 1984: 875)

01.a. INTRODUCTION : INTERET ET DIFFICULTES D'UN TEL EXERCICE

D'aucuns pourraient douter de l'utilité d'une enquête biographique au sein d'une histoire conceptuelle. Elle est pourtant tout à fait essentielle dans le cadre du concept particulier qui nous occupe.

Le choix de ce personnage est motivé par le rôle joué par Guillaume Amontons dans cette histoire. Nous le considérons en effet comme l'auteur d'un des premiers, si ce n'est le premier, antécédents du concept de travail mécanique. Si ce fait explique le choix, il ne le justifie pas.

Il faut alors souligner la particularité du concept de travail mécanique et de ses antécédents, inséparables des conditions matérielles dans lesquelles ils émergent, ce qui n'est pas le cas de tous les concepts. Celles-ci sont explicatives, et non pas simplement contextuelles ou décoratives. On s'en rend particulièrement compte en découvrant que les données utilisées par Amontons en 1699 pour déterminer le travail des polisseurs de verre, sont issues de ses travaux d'ingénieur, dans le cadre d'une machine automatique à polir les verres qu'il invente au tournant du siècle, enjeu autant technique qu'économique. On touche alors du doigt l'apport d'une telle problématique dans la création d'un nouveau concept. Cela, ce sont les archives qui le permettent.

Par ailleurs, il s'agit aussi par une telle enquête de comprendre les influences scientifiques d'Amontons, en essayant de déterminer ses fréquentations savantes, son éducation, ou ses lectures. Dans cette veine, nous avons retrouvé plusieurs des titres de sa bibliothèque.

En troisième lieu, l'enquête familiale, amicale, et sociale n'est pas ici hors de propos. En effet, le concept de travail mécanique tisse des liens étroits avec les notions de production,

de travail au sens économique, et d'efficacité. Les fréquentations d'Amontons sont ainsi susceptibles d'expliquer la perméabilité de son esprit à des considérations utilitaires de la science.

Enfin, dépassant le simple cas du travail mécanique, il faut souligner l'importante lacune historique concernant cet académicien, sur lequel aucune enquête sérieuse n'a été menée depuis l'éloge de Fontenelle en 1705. Les éléments réunis permettront donc de le connaître mieux, ce qui sera directement utile à la connaissance de la vie scientifique de l'entre deux siècles.

Les principaux obstacles qui se sont présentés à nous ont été : 1. les contraintes matérielles et géographiques, 2. la méconnaissance initiale du monde des archives, et 3. la paléographie. En effet, les archives concernant Amontons et sa famille se situant principalement à Paris et Rouen, et écrivant cette thèse à Lyon, ceci impose d'évidentes limitations. Par ailleurs l'exercice biographique est un genre ardu, en ce qu'il amène à se confronter aux archives manuscrites, qui sont un monde en soi. N'ayant pas de formation d'historien, il nous a fallu apprendre sur le tas, ce qui est sans doute la meilleure école, mais peut être aussi la plus laborieuse. Nous tenons à ce propos à remercier très vivement Guy Picolet, spécialiste de l'ancienne académie (avant 1699), dont les compétences et l'enthousiasme nous ont permis de commencer à entrevoir ce territoire singulier et passionnant. Enfin, concernant le dernier point, si l'on peut lire facilement tous les Procès-verbaux de l'Académie, à l'écriture appliquée, il n'en va pas de même des minutes de notaire, souvent parfaitement illisibles pour le néophyte.

Malgré tout, nous avons réuni un certain nombre d'éléments inédits, que nous livrons dans ce chapitre. Celui-ci constitue une étape de recherche, puisque dorment encore dans les archives quantités d'autres informations, et ceci doit nous réjouir.

Il faut ajouter également que ce chapitre est moins ambitieux que son projet initial, qui prévoyait de lui ajouter en sus une biographie d'Antoine Parent, sur lequel les lacunes sont au moins aussi graves. Le temps et les difficultés nous ont cependant empêchés de mener les deux projets de front, et de trouver un point d'entrée concernant Antoine Parent. Ceci n'est que partie remise.

Alors, qui est Guillaume Amontons ? Pour répondre à la question, nous allons exposer dans une première partie son contexte familial. C'est la partie la plus neuve, basée presque intégralement sur des documents d'archives inédits. Dans une seconde partie, nous présenterons l'état de la recherche concernant les amis de l'académicien, basé sur son contrat de mariage de 1702. Enfin dans une troisième partie, nous présenterons ses réalisations

d'instrumentiste, d'ingénieur, et d'académicien. Cette dernière partie est basée principalement sur des documents déjà connus, notamment les Procès-verbaux de l'Académie Royale des Sciences de 1687 à 1705. Elle est néanmoins nécessaire car 1° on en a fait un examen poussé, afin de trouver de nouvelles informations ; 2° nous avons par ailleurs retrouvé quelques documents inédits ; 3° jamais n'a été publié une biographie scientifique complète d'Amontons¹, et 4° il existe des échos de cette partie avec les autres.

¹ L'une des seules tentatives a été celle de Wisniak, qui a publié un court mais honorable article, basé sur les volumes imprimés des HMARS (WISNIAK, "Guillaume Amontons")

01.b. CONTEXTE FAMILIAL (1592-1739)

01.b.i APERÇU

Issu d'une famille rouennaise de marchands merciers connu parfois sous le nom d'Amoutons, son grand père paternel, François II Amontons, choisi de s'orienter vers le droit, une voie reprise par son fils, Guillaume I Amontons, le père du futur académicien. Guillaume I décida en outre de venir s'installer à Paris, où naquit en 1663 Guillaume II de son union avec Esther Du Bié. Orphelin de mère puis de père assez jeune, Guillaume II devient en outre sourd à la suite d'une maladie alors qu'il n'est qu'en troisième. On ne retrouve trace du futur Académicien qu'en 1687 quand celui-ci vient présenter devant l'Académie un nouvel hygromètre. En 1701 le désormais Académicien est l'un des trois seuls héritiers de son cousin issu de germain Jacques de la Haye, conjointement avec ses deux cousins, David Amontons, curé de Fresnes le Plan, et Martin Amontons, marchand mercier à Rouen. Il se marie alors l'année suivante, 1702, avec Marie Marguerite Charmoy, issue d'une famille de gros marchands de vin, et va s'installer avec sa femme dans une dépendance de la maison de son beau père, rue Saint Honoré, à Paris. Son contrat de mariage révèle que nombre de ses amis sont conseillers en la chambre des comptes du Roi, à des fonctions extrêmement respectables. Il est probable, mais improuvé à cet instant, que ces relations ont un lien avec son père, Guillaume I. De son union avec Marie Marguerite, naît en 1705 Marie Madeleine Amontons, très vite orpheline elle même, son père décédant en peu de temps d'une gangrène à l'intestin pendant les vacances de l'Académie, en octobre. Tandis que la nouvelle veuve se remarie avec un certain Louis Samson, Marie Madeleine survivra et épousera en 1729 un receveur des octrois, Louis Tessier.

Après ce bref aperçu, entrons dans le détail.

01.b.ii UN POINT DE DEPART : SON INVENTAIRE APRES DECES

Le problème de toute recherche biographique sur un personnage peu connu est de trouver un point d'entrée dans sa vie, c'est-à-dire un premier document susceptible d'apporter des informations complémentaires menant à d'autres archives. Remarquons qu'Amontons n'est pas le personnage le plus difficile auquel on puisse s'attaquer, puisque l'éloge de Fontenelle² comporte déjà un certain nombre d'informations, telles que ses dates de naissance et de mort. Il n'est donc pas aussi obscur qu'un Cusset par exemple, dont l'Index

² FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE, "Eloge de M. Amontons", HMARS, 1705, H, 150-154

biographique de l'Académie n'indique ni naissance ni mort. Guy Picolet a cependant montré que même dans un cas pareil, il est possible de retrouver beaucoup d'informations.³ Néanmoins, tous les dictionnaires biographiques mentionnant le nom de Guillaume Amontons se sont contentés de reprendre les quelques informations de l'éloge de Fontenelle, sans aucune exception.⁴ Plus de 300 ans après sa mort, il était donc temps d'apporter des éléments complémentaires, en se confrontant aux archives manuscrites.

Fontenelle indiquant la date de sa mort et le fait qu'il laisse une fille âgée d'environ deux mois, c'est très classiquement que nous nous sommes orientés sur la recherche 1° de son inventaire après décès qui selon les lois alors en vigueur a du être dressé, et 2° de l'acte de tutelle de sa fille, puisqu'un tuteur a logiquement du être désigné. A Paris sous le règne de Louis XIV, les élections de tuteurs et de curateurs sont à chercher dans les minutes des actes faits en l'hôtel du lieutenant civil au Châtelet, c'est-à-dire, pour la date considérée, sous les cotes Y 4148 et suivantes des Archives nationales. Pour l'inventaire après décès, qui à Paris était établi devant notaire, il a dû être clos par le lieutenant civil. Il nous a donc fallu rechercher l'acte de clôture d'inventaire, se trouvant, s'il est conservé, sous l'une des cotes Y 5269, 5270, 5281, 5311 ou 5333 des Archives nationales. Comme l'acte de clôture de l'inventaire indique le nom du notaire chez qui il a été dressé (un registre par office de greffier), sa découverte permet ensuite de se reporter à l'inventaire après décès exhaustif, dans le Minutier Central.

³ PICOLET, GUY, "A la recherche des matériaux d'une biographie: l'exemple de l'astronome Cusset", in BRIAN, E. & DEMEULENAERE-DOUYERE, C. (ed.), *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences, Guide de recherches*, Londres/Paris/New York, Lavoisier Tec & Doc, 1996, 263-284

⁴ On a consulté vainement les ouvrages indiqués par les Archives Biographiques Françaises, position I 16, 357-377, III 8 68-69 (cf. l'index de ces dernières : NAPPO, T. (éd.), *Index Biographique Français*, 7 vols., München, K.G. Saur, 2004 Les ABF sont sur microfiches ou accessibles via internet depuis les bibliothèques disposant d'un abonnement à World Biographical Information System Base de données en ligne]De Gruyter, (consulté le 23/01 2007; disponible sur <http://db.saur.de/WBIS> Disponible à la BnF.), à savoir Nicéron, *Le Moyne*, Feller, Hoefler, Dezobry, Tardy: NICERON, JEAN-PIERRE, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres dans la république des lettres: avec un catalogue raisonné de leurs ouvrages*, 43 vols., Paris, Briasson, 1729-1745 DESESSARTS, NICOLAS TOUSSAINT LE MOYNE, *Les siècles littéraires de la France: ou Nouveau dictionnaire historique, critique et bibliographique, de tous les écrivains français, morts et vivans, jusqu'à la fin du XVIIIe siècle*, 6 vols., Paris, L'auteur, 1800-1801 FELLER, FRANÇOIS XAVIER DE, *Biographie universelle, ou Dictionnaire des hommes qui se sont fait un nom, nouv. ° éd.*, 8 vols., Lyon, Pelagaud, 1851 HOEFER, F. (éd.), *Nouvelle biographie générale: depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, avec les renseignements bibliographiques et l'indication des sources à consulter*, 46 vols., Paris, Firmin Didot, 1852-1866 DEZOBRY, LOUIS CHARLES & BACHELET, THEODORE, *Dictionnaire général de biographie et d'histoire: de mythologie, de géographie ancienne et moderne comparée, des antiquités et des institutions grecques, romaines, françaises et étrangères*, 2 vols., Paris, Delagrave, 1869 TARDY, *Dictionnaire des horlogers français*, vol. 1, Paris, Tardy, 1971 Le DBF n'est pas plus proluxe (*Dictionary of scientific biography*). En outre, l'ouvrage de David J. Sturdy (*STURDY, Science and social Status*), si utile en d'autres occasions, ne fait que reprendre l'éloge de Fontenelle et le DSB. Il faut enfin indiquer l'Index biographique de l'Académie des Sciences, outil de travail indispensable à quiconque fait des recherches sur les personnages de l'Académie : INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique*

C'est ce que nous avons fait, pour trouver au bas d'une page de la côte Y5311* :

Du vingt deux desdits mois et an [decembre 1705]

[En marge] Veuve Amontons

Est comparue Marie Margueritte Charmoi, veuve de Guillaume Amontons de l'Academie roiale des sciences, en son nom à cause de la communauté de biens qui a esté entre ledit deffunt et elle, laquelle a affirmé veritable l'inventaire fait à la requeste de M^c Julles Sebastien Jolli, tuteur de ladite comparante à cause de sa minorite, et à la requeste de Jacques Rebut, au nom et comme procureur de M^c David Amontons fondé de sa procuration annexée audit inventaire, au nom et comme tuteur de Marie Magdelaine Amontons, fille dudit deffunt et de ladite veuve, habile à se dire et porter heritiere dudit deffunt son pere, et en presence de Sebastien Charmoi, subrogé tuteur de ladite mineure par Descures (*sic*) et Guedon, notaires, le quatorze des presens mois et an, et icelui tenu pour clos.⁵

L'inventaire après décès doit donc se trouver dans les minutes du notaire Jacques Guesdon (puisque selon l'usage, c'est le second notaire cité qui enregistre l'acte) à la date du 14 décembre 1705, c'est à dire à la côte ET/XXIII/392 du Minutier Central des Archives Nationales. Les informations déjà présentes dans l'acte de clôture d'inventaire sont en outre confirmées par l'acte d'élection des tuteurs des deux mineures⁶.

Nous avons alors trouvé l'inventaire après décès à sa place⁷, et c'est une mine de renseignements : on y trouve les noms, professions et adresse de ses proches, le détail de ses dettes, biens, meubles, argenterie, linge, ainsi que 50 titres de sa bibliothèque, et surtout l'inventaire de divers contrats de constitution de rente, bail, transport, passés à Paris et Rouen et détenus par le défunt, soit qu'il les ait contractés lui même, soit qu'il les ait hérités. On y trouve également la référence à son contrat de mariage.

Nous avons alors tiré le fil de la pelote pour retrouver le plus d'informations possibles dans les archives parisiennes et rouennaises. Voyons ce à quoi nous sommes parvenus.

01.b.iii UNE FAMILLE ROUENNAISE DE MERCIERS

Afin de faciliter la compréhension des liens de parenté entre les membres des familles Amontons/Charmoy, nous insérons ci dessous un arbre généalogique sur trois pages. Ne figurent que les personnes que nous avons réussi à relier au reste de la famille, à l'exception

⁵ Paris, Archives nationales, Y 5311* : Châtelet de Paris, Parc civil, Registres de clôtures d'inventaires, Office provenant du greffier Moreau, avril 1703-mai 1723, spéc. 22 décembre 1705. Concernant la transcription de ce texte, faite par Guy Picolet, 1° la plupart des abréviations ont été résolues 2° l'accent a été ajouté sur la dernière syllabe en cas de besoin 3° le u a été distingué du v de même que le i du j 4° un certain nombre de virgules, de points et d'autres signes de ponctuation indispensables à la compréhension ont été ajoutés 5° l'usage des majuscules a été légèrement modernisé.

⁶ Paris, Archives Nationales, Y 4149 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, Nov.-déc. 1705, spéc. 11 décembre 1705

⁷ Paris, Archives nationales, Minutier Central, ET/XXIII/392 : Minutes de Me Jacques Guesdon, notaire au châtelet de Paris, juillet-décembre 1705, pochette décembre, spéc. 14 décembre 1705. Inventaire après décès de Guillaume Amontons.

notable de Julles Sébastien Joly, décrit comme “cousin” de la femme de Guillaume II Amontons, sans que l’on ait réussi à éclaircir les liens qui l’unissent aux Charmoy.

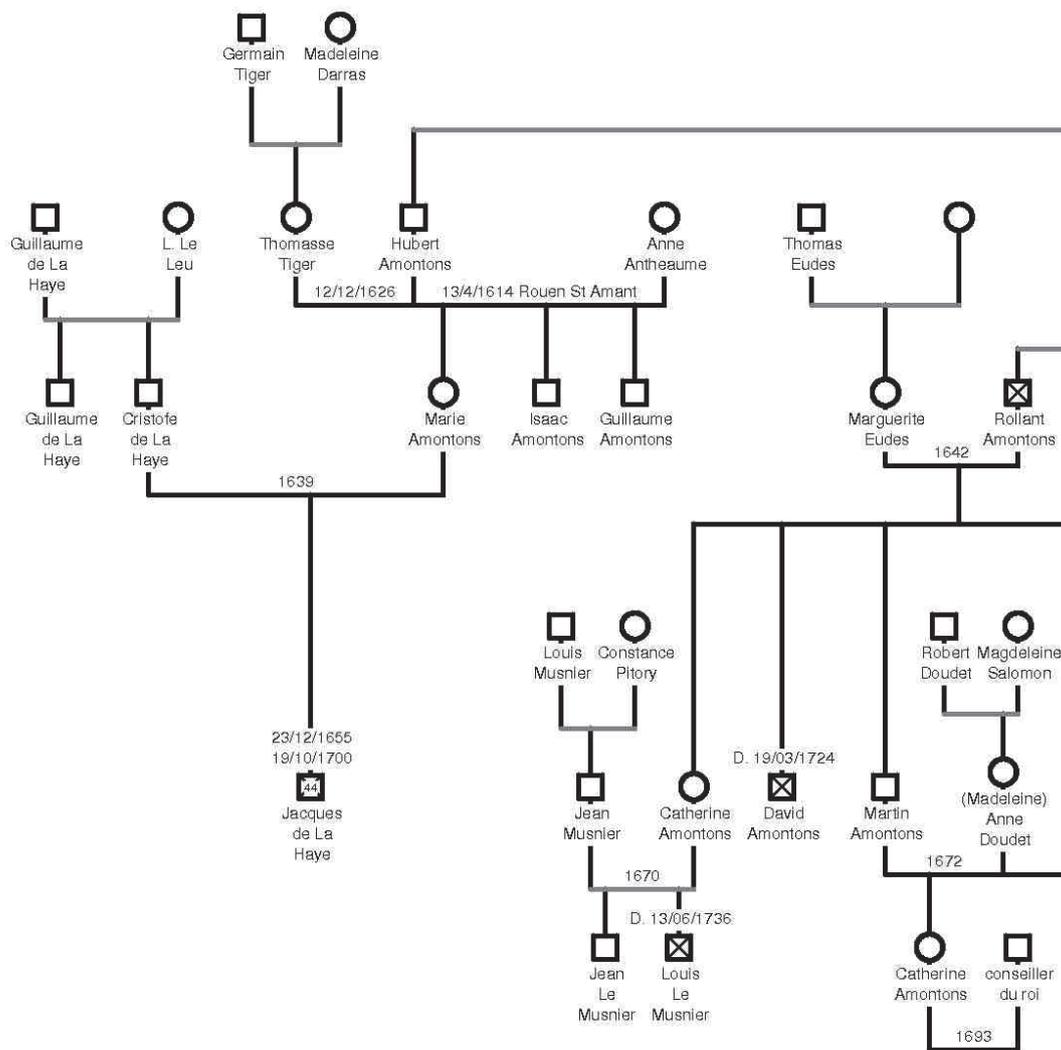
Il nous faut d’abord présenter la famille rouennaise d’Amontons, puisque celui-ci gardera des liens avec elle jusqu’à sa mort. Il nous a fallu en outre remonter jusqu’à l’arrière grand père de l’Académicien, François I Amontons, afin de déterminer l’origine d’un héritage d’importance dont bénéficie Guillaume II à la suite de la mort de son cousin issu de germain Jacques de la Hayes.

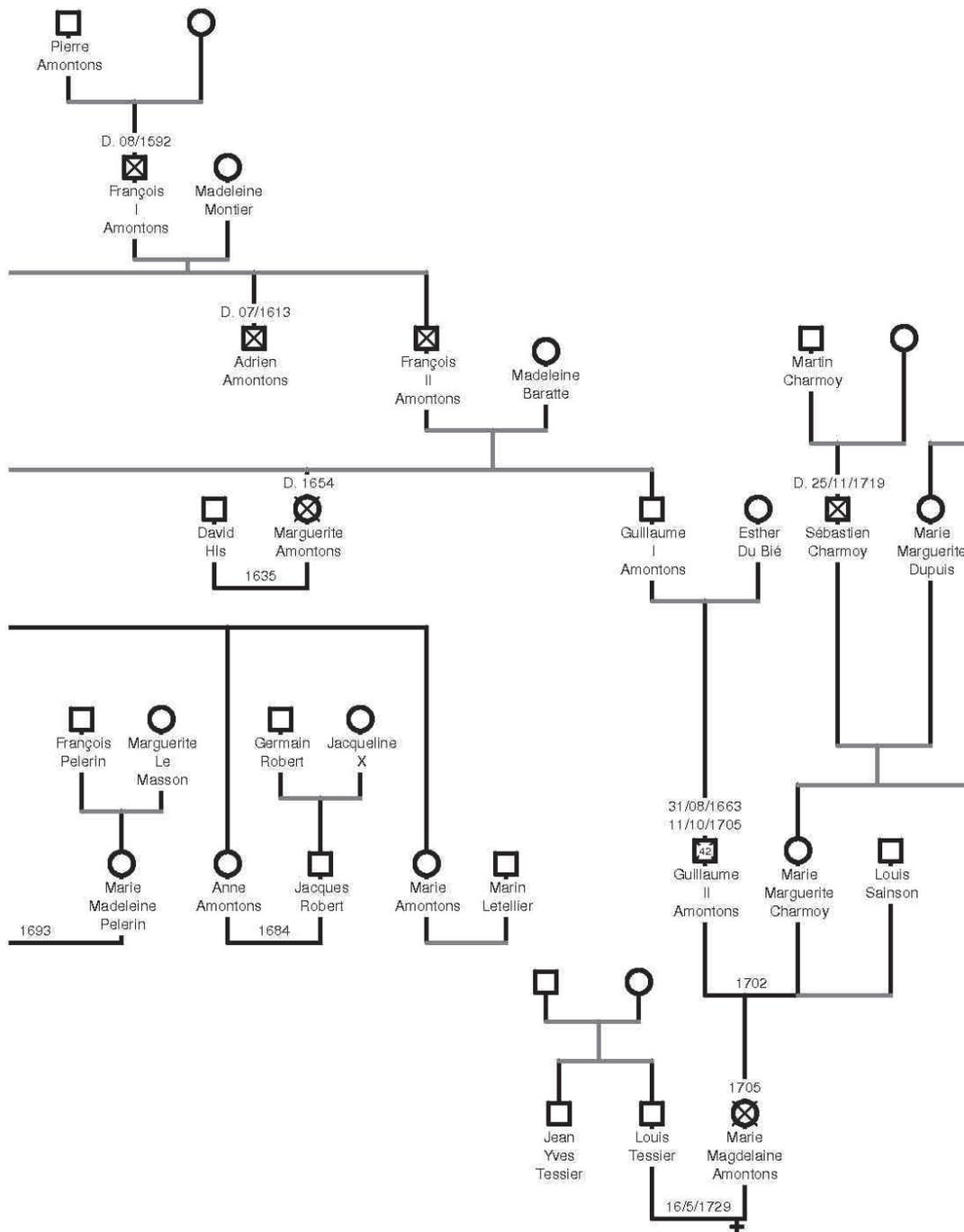
Un acte de lots et partages du 9 octobre 1613 trouvé à la cote 2E1/2106 des Archives départementales de la Seine Maritime (AD76)⁸, permet de faire la connaissance de François II Amontons et Hubert Amontons, tous deux frères, enfant et héritiers de François I Amontons et de Magdeleine Montier. Ils sont également héritiers du défunt Adrien Amontons, leur frère. Comme expliqué dans l'acte, François est en fait décédé au mois d'août 1592 (sans mention du jour), ce qui donna lieu à l'époque à un premier partage. Mais le décès d'Adrien, en juillet 1613, a nécessité un nouveau partage.⁹

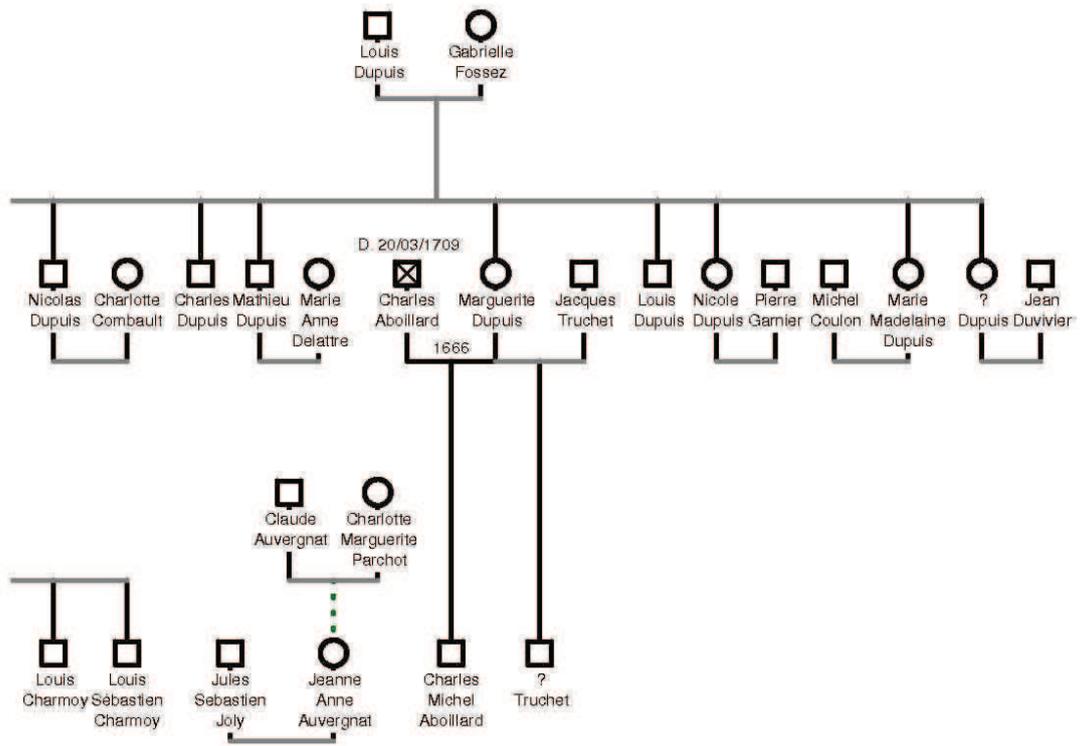
Les deux frères survivants se partagent des rentes et des héritages à Rouen, Ste Croix sur Buchy, Boscmesnil près la Neufchastel et Grémonville. Cette paroisse de Boscmesnil, en fait dans le canton de Saint-Saëns, est très intéressante car elle jouxte la paroisse de St Martin le Blanc (aujourd'hui St Martin Osmonville) où habitaient à l'époque d'autres Amontons, peut être lointains cousins des rouennais. Nous n’avons cependant pas poussé dans cette dernière direction.

⁸Rouen, AD76, 2E1/2106 : Tabellionage de Rouen, Héritages 2eme série, oct.-déc.1613, spéc. 9 octobre 1613. Lots et partages entre Hubert et François Amontons

⁹ Cet acte a pu être trouvé par le biais du répertoire d’alliance roturières (répertoire classé dans l’ordre alphabétique des noms de famille, renvoyant aux différentes séries du tabellionage) : Rouen, AD76, 2E1/70 : Tabellionage de Rouen, répertoires anciens, Répertoires alphabétiques des alliances de familles roturières, Répertoire A-H.







François I Amontons, le père, était marchand mercier grossier¹⁰. Il nous faut nous arrêter un instant sur cette qualité, puisque toute une part de sa descendance poursuivra la voie tracée par le père. Qu'est ce qu'un marchand mercier ? Vendeur de tout, faiseur de rien, répond l'adage. Dans le système corporatiste d'alors, il est surtout le corps le plus puissant, et le plus nombreux. Selon Le Parfait Négociant, de Savary, ce corps peut faire

[...] le commerce de toutes les marchandises que vendent les autres [...], en gros, en balle, & sous corde, mesme quelques-unes en détail (ce qui leur est pourtant contesté par les autres corps) aussi contient-il en luy six états différens de marchands : sçavoir le marchand grossier, celui de drap d'or, d'argent, de soye, & de laine, celui d'ostades, celui de tapissier, celui de la joüaillerie, & celui de la menuë mercerie, qui donne le nom à ce grand corps ; [...] c'est le plus considerable"¹¹

En outre, c'est le plus noble, dit Savary, car

[...] dans le corps de la mercerie, les particuliers ne travaillent point, & ne font aucuns ouvrages de la main, si ce n'est pour enjoliver les choses qui sont déjà fabriquées & manufacturées [...]"¹²

On sent tout le poids d'une vision du travail toujours en vogue dans les milieux éduqués, bien qu'en déclin, consistant à ne comprendre le mot de travail que sous son acception physique et manuelle, pour le déprécier et en faire l'apanage des pauvres, des sans-patrimoines. Dans la vision biblique traditionnelle, le travail, conséquence du péché originel, est, dans les deux principaux sens du terme, souffrance, mais souffrance salvatrice, donc nécessaire. D'un autre côté, les élites aristocratiques et les lettrés du 17^e s., formés aux auteurs grecs et romains, sont encore (bien que de moins en moins) dans une vision antique du travail (bien qu'il n'existe pas dans l'antiquité un mot unique pour désigner ce qu'on appelle travail au 17^e siècle), où seuls les esclaves "travaillent". Mais les classiques raisonnaient à partir d'une éthique de l'autarcie : il existait une opposition nette entre artisanat et agriculture, en ce que l'agriculture permettant de s'accomplir physiquement et d'atteindre, idéalement, à l'autarcie alimentaire, qui garantit la liberté individuelle, tandis que les métiers de l'artisanat ruinent le corps, interdisent le loisir indispensable à l'exercice concret des droits des citoyens, et surtout, de par la spécialisation qu'ils impliquent, intègrent les artisans dans un réseau de dépendance opposé à l'idéal autarcique.¹³ Les élites du 16^e siècle, et encore en partie au 17^e s., n'entendent ni travailler, ni labourer, et ont tendance à considérer le travail, concept alors en

¹⁰ Rouen, AD76, 2E1/2158 : Tabellionage de Rouen, Héritages 2eme série, oct.-déc. 1626, spéc. 12 déc. 1626. Contrat de mariage entre Hubert Amontons et Thomasse Tiger.

¹¹ SAVARY, JACQUES, *Le Parfait négociant, ou Instruction générale pour ce qui regarde le commerce de toute sorte de marchandises, tant de France que des pays estrangers...*, Paris, L. Billaine, 1675: 1, 43 On peut se reporter à la page 44 du même ouvrage, où Savary fait le détail de toutes les marchandises pouvant être vendu par le mercier, pour le plaisir de la liste.

¹² *Ibid.*: 1, 45

¹³ SALIOU, "Remarques sur le travail dans les mondes grecs et romain"

pleine mutation, comme à la fois douloureux, physique (des débats naissent sur le travail des prêtres, qui, “oisifs” sont accusés d’encourager par la paresse des pauvres), et vulgaire (c’est-à-dire pour le bas-peuple) donc méprisable pour une classe qui n’entend pas se confondre avec le commun. Dès lors, se créer un lien entre pauvreté et nécessité de travailler, qui correspond à la structure socio-économique du temps, c’est à dire une société de patrimoine, non de revenu. Le pauvre, c’est celui qui n’a pas de bien, celui qui est obligé de travailler.

On comprend alors toute la valorisation sociale du corps des merciers. Echappant au travail purement physique du corps et des mains, il met en avant le négoce, au sens aussi de négociation, et permet de gagner sa vie en s’approchant au plus proche possible d’une éthique aristocratique. Vendre, ça n’est pas travailler. Par ailleurs, c’est une activité extrêmement lucrative, et Savary note bien que dans ce corps, “[...] *on peut commencer le négoce par cent écus, & le faire dans la suite avec des millions*”¹⁴. Un enrichissement rapide qui, dans l’ancien régime, n’est pas recherché tant pour lui même, que, conséquemment à ce qu’on vient de dire, pour le patrimoine ou les charges qu’il permet d’acheter, la place d’un individu dans l’ordre social n’étant pas fondée sur la fortune mais sur la dignité de sa naissance ou de ses fonctions.

En ce qui concerne la famille Amontons, on va assister à son élévation progressive au sein du corps des marchands merciers, avec une prédilection pour la spécialisation de merciers grossiers. Par ailleurs, il semble que l’ascension sociale de cette famille de marchand passe consciemment par des “croisements” répétés avec des familles d’officiers de justice.

01.b.iv HUBERT AMONTONS ET SA DESCENDANCE

L’un des fils de François I Amontons, Hubert, aura avec Anne Antheaume au moins 3 enfants : Isaac (l’aîné¹⁵), qui entrera en religion, parmi la nouvelle et austère confrérie des Augustins déchaussés¹⁶ ; Guillaume, à ne pas confondre avec notre académicien ou son père

¹⁴ SAVARY, *Le Parfait négociant... I*, 45

¹⁵ In Rouen, AD76, 2 E 11 / 13 : *Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye.*

¹⁶ Cf. BARBICHE, JEAN-MARIE, “*Les Augustins déchaussés de Notre Dame des Victoires (1629-1790)*” (*École nationale des chartes*, 2007) *La congrégation des Augustins déchaussés, ordre mendiant, dont les membres ont la particularité de marcher nu-pied, est née en Espagne en 1592. Elle s’est implantée rapidement en Italie et a acquis progressivement une grande indépendance vis-à-vis du grand ordre. C’est de Rome que partent, en 1595, les religieux français qui fondent le premier établissement de la réforme en France, dans le Dauphiné. Les fondations se multipliant, la branche française se détache progressivement des autres et acquiert son indépendance définitive entre 1610 et 1630. C’est vers 1640 qu’elle est divisée en trois provinces ; ce cadre reste inchangé jusqu’à sa disparition pendant la Révolution française. La première fondation parisienne date de 1609, à l’initiative de la reine Marguerite de Valois. Mais les Augustins déchaux sont chassés dès 1613 et remplacés par les Petits-Augustins. Ils reviennent dans la capitale en 1619 et, dix ans plus tard, acquièrent des terrains dans le nouveau quartier situé autour de la rue de Richelieu. Ils sollicitent alors l’intervention de Louis XIII qui accepte de se déclarer fondateur du couvent de Notre-Dame-des-Victoires*

l'avocat ; et enfin Marie. Hubert meurt au début de 1632¹⁷, après un remariage avec Thomasse Tiger fin 1626¹⁸. Ceux des enfants encore mineurs à cette date (vraisemblablement Marie et Guillaume), se voient attribués comme tuteur leur oncle François II.

Isaac vivra au moins jusqu'au 13 septembre 1638, puisque François II envoie à cette date un compte rendu à Thomasse Tiger, son nouveau mari, et Isaac¹⁹. En revanche les deux frères meurent avant 1649, car on trouve à cette date un acte stipulant que Marie est désormais seule héritière²⁰.

Marie Amontons passe une maîtrise de lingerie²¹ et épouse alors Christophe de La Haye, mercier grossier²², qui meurt au début de 1665, puisque sa veuve fait apposer les scellés le 2 mars 1665²³. De leur union naît Jacques de La Haye, baptisé à Rouen St Michel le 23 décembre 1655²⁴, et plus tard désigné comme "bourgeois de Rouen"²⁵. A sa mort en 1700, il sera le dernier descendant connu d'Hubert Amontons (cf. infra).

01.b.v FRANÇOIS II, COMMIS AU GREFFE DE LA COUR DES AIDES DE ROUEN, ET SA DESCENDANCE

Le fils de François I Amontons et de Madeleine Montier, au contraire de son frère Hubert et du reste de la famille, ne s'oriente pas dans la mercerie ni même dans une autre corporation de marchand. Il semble avoir plus de goût pour le droit, à moins que ce ne soit l'ambition qui l'y porte. Il devient commis au greffe de la cour des aides de Rouen. Le même schéma se reproduira ensuite parmi ses enfants puisque son fils Guillaume I devient avocat (selon Fontenelle), tandis que Rolland, son autre fils (et il semble qu'il n'y en ait pas eu d'autres), rejoint le corps des merciers. Il peut s'agir d'une volonté délibérée de la part de François II puis François I, de faire coexister dans la même famille marchands et officiers de

¹⁷ Mention de l'inventaire de Hubert Amontons le 12 et 29 juin 1632 in Rouen, AD76, 2 E 11 / 13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye.

¹⁸ Rouen, AD76, 2E1/2158 : Tabellionage de Rouen, Héritages 2eme série, oct.-déc. 1626, spéc. 12 déc. 1626. Contrat de mariage entre Hubert Amontons et Thomasse Tiger

¹⁹ Ibid.

²⁰ Rouen, AD76, 2 E 1 / 2466 : Tabellionage de Rouen, Tabellions, Abraham Ferment, Héritages, 1649, spéc. 3 mai 1649

²¹ Rouen, AD76, 2 E 11 / 13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye

²² Ibid. et Rouen, AD76, 2E1/2611 : Minute de Me Guillaume Liot, juil.-déc. 1672, spéc. 9 août 1672. Contrat de constitution de rente, par Jacques Caillet, escuyer, sieur de Sommary, au profit de Marie Amontons, veuve de Christophe de La Haye.

²³ Evoqué dans Rouen, AD76, 2 E 11 / 13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye

²⁴ Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701, 11 p. de texte. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye .

²⁵ Rouen, AD76, 2 E 11 / 13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye

justice, dans le but d'une facilitation des affaires. Une telle hypothèse semble étayer par le fait que Roland Amontons, fils de François II, mariera sa propre fille Catherine avec un avocat en la cour du parlement de Rouen en 1670 (cf. infra). Néanmoins l'état actuel de notre recherche nous interdit pour l'instant de tirer toute conclusion.

Un mot sur la cour des aides de Rouen. Elle a, à l'époque, les mêmes attributions que la Cour des aides de Paris. C'est une cour royale qui juge en dernier ressort et souverainement tous procès, tant civils que criminels, relatifs aux impositions. Le répertoire numérique de la série 3B des Arch. dep. de la Seine Maritime indique :

L'aspect judiciaire des attributions de la Cour des aides est le plus important. Il porte sur des domaines fiscaux :

- impôts directs : tailles et crues de taille, aides, dons gratuits, décimes, octrois, emprunts et impositions nécessitées par la guerre (étapes, levées de chevaux, etc.)
- impôts indirects : gabelle du sel, quatrièmes, traite et imposition foraine
- privilèges financiers : procès de noblesse, affaires relatives aux monnoyers, aux francs-archers, au personnel des Universités ; elle a puissance sur toutes les communautés qui jouissaient d'exemptions financières, ville ou congrégation religieuse ; elle a autorité sur les clercs réguliers et séculiers, mais ceux-ci pouvaient demander à être jugés par l'officialité (privilège de cléricature), en ce cas un ou deux des généraux assistaient au procès en cour d'église.

Elle juge au civil les procès touchant la taille (les plus nombreux), les fermiers et les fermes, au criminel la répression de la contrebande du sel, les faux témoins, les voleurs qui détournent les assistants à l'audience, ceux qui s'attaquent aux officiers des aides. Elle peut condamner à mort un grenetier coupable de malversations.

Elle juge en première instance les différends nés à propos des offices eux-mêmes et les plaintes formées contre les fonctionnaires ainsi que les procès relatifs aux contrats faits entre fermiers munitionnaires, c'est à dire partout où elle étend ses attributions administratives ; elle juge en appel des élus ou de leurs lieutenants et grenetiers.²⁶

En outre son rôle administratif et financier est important puisqu'elle publie et enregistre les ordonnances et édits royaux concernant les aides et tout ce qui est relatif aux finances extraordinaires de la province : impôts nouveaux, prêts, etc.

Le personnel de la cour des aides a augmenté à mesure de l'importance croissante de la cour. Présidents et généraux sont au sommet de la hiérarchie, puis viennent les adjoints, ou assesseurs, désignés de manière ponctuelle pour des affaires extraordinaires, les commissaires, chargés de procéder à des enquêtes et à des informations, un procureur général, représentant du roi pour surveiller l'exercice de la justice, assisté des avocats du roi qui plaident pour lui. Enfin viennent greffiers, receveurs (pour la recette des amendes et le paiement des gages) et huissiers. Comme commis au greffe, François II Amontons semble donc au bas de l'échelle.

²⁶ LA CONTE, MARIE-CHRISTIANE DE MAROTEAUX, V. & ARCHIVES DEPARTEMENTALES DE LA SEINE-MARITIME (éd.), *Cour des Aides (1440-1790) Sous-série 3B (répertoire numérique)*, Rouen, 2006: 6-7

Il est par ailleurs cité en passant par le chancelier Séguier en juin-juillet 1639 comme témoin de sévices subis par Léonard Hugot, commis à “recepte générale des droictz domaniaux de francs fiefz et nouveaux acquestz, relliefz et demy-relliefz, de Normandie”.²⁷

François II aura avec Madeleine Barate au moins trois enfants : Marguerite, Roland, et Guillaume I.

Marguerite épouse en 1635 David His, maître épicier droguiste²⁸. Elle et son père François II meurent avant 1654.²⁹

01.b.vi ROLAND AMONTONS, FILS DE FRANÇOIS II, ET SA DESCENDANCE

Roland devient un important marchand mercier grossier³⁰, et demeure (en 1672) à Rouen Saint Herbland.³¹ En 1676 le Rôle des Marchands Bourgeois de la Ville de Rouen mentionne Roland et Martin Amontons (son fils) en tête des marchands de la paroisse Saint Herblanc³², ce qui est logique puisque Roland Amontons fut maître de la confrérie des merciers du 6 décembre 1674 au 22 juin 1676, succédant à François de Chefdeville.³³

Un autre rôle de 1687 (après la Révocation de l'Edit de Nantes) mentionne Roland Amontons à la même place, mais son nom est rayé sans mention de décès³⁴. Dans une liste des Merciers grossiers de la ville de Rouen déposée dans l'étude notariale Sanadon, acte du 6 décembre 1694 les Amontons ne figurent pas.³⁵ Pourtant à cette date, on sait que Martin était toujours marchand mercier.

²⁷ SEGUIER, CHANCELIER DE VERTHAMONT, F. D. & FLOQUET, A. (éd.), *Diaire ou journal du voyage du chancelier Séguier en Normandie après la sédition des Nu-pieds (1639-1640) et documents relatifs à ce voyage et à la sédition: publiés pour la première fois d'après les manuscrits de la Bibliothèque royal avec de nombreuses annotations*, E. Frère, 1842: 343

²⁸ Rouen, AD76, G6541 : *Clergé Séculier avant 1790, Fonds de la fabrique de Saint-Etienne-des-Tonneliers, Copie du Contrat de mariage entre David His et Marguerite Amontons, 7 janvier 1635.*

²⁹ On trouve dans G5415 la mention suivante : “Lots de partage faits devant notaires à Rouen le neufiesme jour de may 1654 entre Guillaume et Rolland Amontons, frères et successeurs de Me François Amontons, leur père et de Marguerite Amontons leur soeur.”

³⁰ Mention in Rouen, AD76, 2E1/2607 : *Minutes de Me Guillaume Liot, jui.-déc. 1670: contrat de mariage de Catherine amontons et Jean Musnier, 6 novembre 1670*

³¹ D'après le cdm de son fils Martin, Rouen, AD76, 2E1/2610 : *Minutes de Me Guillaume Liot, janv.-juin 1672, spéc. 27 mars 1672. Contrat de mariage entre Martin Amontons et Anne Doudet.*

³² Rouen, AD76, *Régistre de délibération de la Jurisdiction consulaire, 1648-1678, f° 477-481. Cette information nous a aimablement été fournie par le Pr. Jochen Hoock. Nous n'avons pas vu le document.*

³³ D'après une source secondaire (il faut donc aller vérifier les originaux) : SEINE-INFÉRIEURE, COMMISSION DÉPARTEMENTALE DES ANTIQUITÉS *Bulletin de la Commission des antiquités de la Seine-Inférieure, t. 12 (1900-1902), Rouen, Imprimerie Cagniard: 218 L'auteur tire l'information des “comptes de la confrérie des merciers établies en l'église Saint-Jean de Rouen”.*

³⁴ Rouen, AD76, Série B - non-classé

³⁵ Rouen, AD76, *Archives notariales. Information non vérifiée, fournie par le Pr. Jochen Hoock.*

Roland épouse Marguerite Eudes³⁶ en 1641 ou 1642³⁷, avec laquelle il aura au moins 5 enfants : David, Martin, Catherine, Anne, Marie.

Sur ces deux dernières on ne sait pas grand chose si ce n'est que Marie épouse Marin Le Tellier³⁸, et Anne, Jacques Robert en 1684³⁹.

Catherine quant à elle épouse en 1670 Jean Musnier, avocat en cour du parlement de Rouen et banquier en cour de Rome, fils de Louis Musnier et de Constance Pitoy.⁴⁰ L'époux dit gagé douaire⁴¹ coutumier a la future épouse sur tous ses biens et héritages présents et à venir, conformément à la coutume du pays de Normandie, et Roland Amontons promet à Jean Musnier de donner et payer avant la célébration du mariage la somme de neuf mille livres,

³⁶ Fille de Thomas Eudes et L. Le Leu, elle sera toujours vivante en décembre 1700 selon la déclaration de son petit fils Jean Le Musnier (in Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye) qui affirmera qu'elle a alors "environ cent ans", ce qui est sans doute inexact, car il est physiologiquement improbable d'avoir 5 enfants à partir de l'âge 42 ans. Il est plus vraisemblable qu'elle ait alors aux environs des 80 ou 85 ans.

³⁷ Mention d'une "Coppie d'un traité de mariage d'entre Roland Amontons, fils François et Marguerite Eude, fille de Thomas, du premier jour de décembre 1641 reconnu aux requêtes du palais à Rouen le XXIIe jour de septembre 1642" (Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701, 11 p. de texte. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye)

³⁸ Relevés BMS : nous n'avons pas eu les relevés en main, cette information doit donc être vérifiée.

³⁹ Idem..

⁴⁰ Rouen, AD76, 2E1/2607 : Minutes de Me Guillaume Liot, jui.-déc. 1670: contrat de mariage de Catherine Amontons et Jean Musnier, 6 novembre 1670.

⁴¹ "Le douaire, soit coutumier soit préfix, est un terme de droit ancien désignant la portion de biens que le mari réserve à son épouse dans le cas où celle-ci lui survivrait. La bénéficiaire est dite douairière.

Le douaire préfix, c'est-à-dire celui qui est stipulé par contrat de mariage, présente certains avantages sur le [douaire] coutumier :

- le douaire coutumier ne peut avoir lieu que si le mari possède des immeubles propres. Dans le cas contraire, la veuve n'aura rien à espérer. Le douaire préfix se prend (sauf stipulation expresse du contrat de mariage) sur tous les biens meubles et immeubles, propres et acquêts du mari.

- l'hypothèque du douaire préfix prend naissance au jour du contrat de mariage tandis que celle du coutumier n'est acquise que du jour de la célébration du mariage. La femme prime ainsi les créanciers envers lesquels le mari s'est obligé dans l'intervalle de ces deux dates.

- la douairière coutumière est tenue de payer les charges foncières et les réparations usufruitaires. La femme jouissant d'un douaire préfix constitué en deniers ou en rente n'est tenue de rien.

- le douaire préfix est très souple, il peut être l'objet de toutes sortes de modalités.

Le douaire préfix est une clause de style que l'on rencontre dans presque tous les contrats de mariage. Les stipulations utilisées sont au nombre de deux :

- tantôt il s'agit d'une rente à servir à la future épouse.

- tantôt il s'agit d'une somme en deniers comptants une fois payée. Il ne faut pas se méprendre sur l'expression « une fois payée ». A moins de stipulation contraire, il ne s'agit encore que d'un usufruit.

La clause de douaire la plus courante est rédigée de la manière suivante : « Le futur époux a doué et doue la future épouse de ... livres une fois payées (ou encore : de ... livres de rente) de douaire préfix à prendre sur tous les biens présents et à venir du futur époux, et dont elle jouira sitôt qu'il aura lieu, sans être obligée d'en faire demande en justice. Le fonds duquel douaire, sur le pied du denier 20, sera propre aux enfants du mariage. »

Il est facile de constater l'importance du montant du douaire par rapport à la fortune du futur époux. Les quotités les plus utilisées (moitié, tiers, trois-quarts) se rapprochent sensiblement de la règle coutumière.

Le douaire trouve son origine dans le morgengabe, mais, alors que le morgengabe est une pleine propriété, le douaire est l'usufruit des biens ou d'une portion des biens de l'époux décédé."

Cf. LELIEVRE, JACQUES, La pratique des contrats de mariage chez les notaires au Châtelet de Paris de 1769 à 1804, Paris, Cujas, 1959

dont “trois mil cinq cent livres pour le don mobil du dit sieur futur espoux pour supporter les frais du dit mariage, et les cinq mil cinq cent livres restants demeureront dès a présent consignez et constituez sur les biens du dit sieur futur espoux, en rente au prix du Roy pour tenir lieu de la dot et propre de ladite future espouse”. David Amontons, l’un des deux fils de Roland, est parmi les convives, entre autres.

C’est un beau mariage au sens de l’époque, en ce qu’il voit s’unir deux importantes familles, l’une de mercier, l’autre de banquiers en cour de Rome. En quoi consiste cette dernière charge ? Cela n’a rien d’anodin, puisque, pour reprendre la définition de Boucher d’Argis dans l’Encyclopédie, ce sont

des officiers établis en France pour solliciter en cour de Rome, exclusivement à toutes autres personnes, par l’entremise de leurs correspondans, toutes les bulles, rescrits, provisions, signatures, dispenses, & autres actes, pour lesquels les églises, chapitres, communautés, bénéficiers, & autres personnes, peuvent se pourvoir à Rome; soit que ces actes s’expédient par consistoire⁴² ou par voie secrete, en la chambre apostolique⁴³, en la chancellerie romaine⁴⁴, & en la daterie⁴⁵ qui en dépend, ou en la pénitencerie⁴⁶, qui est aussi un des offices de la cour de Rome.⁴⁷

Les expéditions provenant de la chancellerie romaine devaient être signés par eux pour être jugés authentique devant les tribunaux. Ces officiers entretiennent donc des relations privilégiées avec la cour papale.

L’histoire de cette charge est très complexe et nous renvoyons à l’article que l’Encyclopédie y consacre pour les détails les plus sordides. On se contentera de dire ici que suite à de nombreux abus, les banquiers en cour de Rome devinrent officiers publics par un

⁴² “ *Consistoire du pape, est l’assemblée des cardinaux convoqués par le pape qui y préside; c’est proprement le conseil du pape [...] Le pape tient deux sortes de consistoires ou conseils avec les cardinaux, savoir le consistoire public & le consistoire secret: le consistoire public est celui dans lequel il reçoit les princes, & donne audience aux ambassadeurs [...]le consistoire secret est le conseil où le pape pourvoit aux églises vacantes, telles que les évêchés & certaines abbayes consistoriales. Ce consistoire se tient dans une chambre plus secrete, qu’on appelle la chambre du pape gai*” (D’ALEMBERT & DIDEROT, *Encyclopédie*: 4, 47, *Consistoire du pape*)

⁴³ “*c’est un tribunal ecclésiastique à Rome, que l’on peut appeller le conseil des finances du pape [...] On traite dans cette chambre les affaires qui concernent le thrésor ou le domaine de l’église & du pape, & ses parties casuelles. On y expédie aussi quelquefois les lettres & bulles apostoliques pour les bénéfices. Cette voie n’est pas la seule pour expédier ces lettres & bulles; on en expédie aussi, mais rarement, par voie secrete, & plus communément en consistoire & chancellerie.*” (Ibid.: 3, 47, *chambre apostolique*)

⁴⁴ “*est le lieu où on expédie les actes de toutes les graces que le pape accorde dans le consistoire, & singulierement les bulles des archevêchés, évêchés, abbayes, & autres bénéfices réputés consistoriaux.*” (Ibid.: 3, 119, *Chancellerie romaine*)

⁴⁵ “*est un lieu à Rome près du pape, où s’assemblent le dataire, le soûdataire, & autres officiers de la daterie, pour exercer leur office & jurisdiction, qui consistent à faire au nom du pape la distribution des graces bénéficiales & de tout ce qui y a rapport, comme les dispenses des qualités & capacités nécessaires, & autres actes semblables. On y accorde aussi les dispenses de mariage.*” (Ibid.: 4, 636, *DATERIE*)

⁴⁶ “*la pénitencerie de Rome, camera paenitentiaria, est l’office, tribunal ou conseil de la cour de Rome, dans lequel s’examinent & se délivrent les bulles, brefs ou graces & dispenses secrettes qui regardent les fautes cachées, & par rapport au for intérieur de la conscience, soit pour l’absolution des cas réservés au pape, soit pour les censures, soit pour lever les empêchemens de mariages contractés sans dispense.*” (Ibid.: 12, 304, *PENITENCERIE*)

⁴⁷ Ibid.: 6, 290, *EXPEDITIONNAIRES DE COUR DE ROME ET DES LÉGATIONS*

édit de mars 1673, qui crée pour la ville de Rouen deux charges d'officiers héréditaires, et par une déclaration du 30 janvier 1675, qui leur attribue le titre de *conseillers du roi banquiers - expéditionnaires de cour de Rome & de la légation*. Pour être reçu *banquier-expéditionnaire en cour de Rome*, un certain nombre de conditions étaient réunies, dont le fait suivant l'article 33 des statuts de 1678 et 1699, d'être avocat au parlement. On voit qu'en 1670, Jean Musnier répond déjà à cette condition. On sait également qu'il transmettra sa charge à son fils Jean dont le nom se change curieusement en Le Musnier⁴⁸.

Ce qui nous intéresse ici est de noter une fois de plus la collusion au sein de la famille Amontons entre monde marchand et officiers de justice, puisque la charge de banquier en cour de Rome était essentiellement juridique. Les contacts de Jean Musnier puis de son fils ont pu favoriser la carrière de certains membres de la famille au sein de l'église catholique, apostolique et romaine, par exemple David Amontons.

Un autre enfant de Roland se prénomme Martin. Nous l'avons déjà rencontré : il exercera tout comme son père la profession de marchand mercier, à Rouen St Herbland⁴⁹. un acte de 1701 le donne comme demeurant rue des Carmes de cette dernière paroisse.⁵⁰ Il épouse en premières noces en 1672 Anne Doudet, majeure, dont les parents, Robert Doudet "marchand bourgeois" à Rouen Saint Vincent et Madelaine Salomon, sont morts avant ce mariage. Roland met de nouveau la main à la poche et s'engage "pour la bonne amitié" qu'il porte au futur époux et en considération du mariage, à lui donner par avance de sa succession la somme de 12000 livres, dont 8000 en "marchandise et argent", les 4000 restants étant constitués par six années de location en sa maison, estimé à 220 livres de rente, comprenant "une boutique cuisine, une court, trois chambres avec le grenier et la liberté aux commoditez exemptes de toutes reparations". La dot de l'épouse est fournie par la succession de feu son père, par l'intermédiaire de sa sœur Charlotte, cohéritière, qui promet d'apporter la somme de 13500 livres dont 10000 en argent comptant et le surplus en marchandise et meubles. Au nombre des signatures figurent, entre autres, David Amontons, Marin Le Tellier, trois Eudes (Marguerite, Jean, Thomas), trois Barate, ainsi qu'un certain Laurens Amontons, dont nous n'avons pas pour l'instant retrouvé trace dans les archives.⁵¹

⁴⁸ Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye

⁴⁹D'après Rouen, AD76, 2E1/2610 : Minutes de Me Guillaume Liot, janv.-juin 1672, spéc. 27 mars 1672, contrat de mariage entre Martin Amontons et Anne Doudet.

⁵⁰ Rouen, AD76, 2E11/14 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1701, spéc. 28 octobre 1701. Lots et partages entre David, Guillaume et Martin Amontons

⁵¹ Rouen, AD76, 2E1/2610 : Minutes de Me Guillaume Liot, janv.-juin 1672, spéc. 27 mars 1672, contrat de mariage entre Martin Amontons et Anne Doudet

Néanmoins une source secondaire normande donne un Dom Laurent Amontons sur une inscription commémorative au seuil du grand portail de l'église Saint Ouen de 1724/1725 et redécouverte en 1846⁵², sans que l'on sache s'il s'agit du même.

Martin se remarie plus de 20 ans après, avec Marie Madeleine Pellerin⁵³. Entretemps son importance croît suffisamment pour qu'il estime devoir prendre blason (Figure 75)⁵⁴.



Figure 75 : Blason de Martin Amontons

De toute évidence, Martin choisit de créer un blason d'«armes parlantes», c'est-à-dire des motifs qui rappellent l'étymologie du patronyme, à savoir «d'azur à trois moutons d'argent»⁵⁵. C'est une preuve de la tendance d'une partie de la branche rouennaise de la famille à se faire nommer Amoutons, avec un u. La différence entre les deux orthographes est subtile, et il est souvent bien difficile lorsqu'on a un acte du 17^e siècle dans les mains, de reconnaître laquelle des deux a été préférée. Par ailleurs, dans les actes où Guillaume II, l'académicien, apparaît avec Martin, ils sont dénommés en commun sous le même nom, qui semble bien être Amontons. Pour cette raison, nous utilisons toujours ici l'orthographe Amontons pour toutes les branches de la famille. Il faut cependant toujours avoir en tête de consulter les deux formes au cours des recherches dans les répertoires numériques.

Le dernier fils de Roland Amontons, David Amontons, deviendra curé de Fresne le Plan, aujourd'hui village de Haute Normandie. L'une des premières traces que l'on est de lui est sa graduation comme maître ès arts de l'université de Paris le 7 Août 1666:

Dauid Amontons Rotomagæus

29. Julii 1669.

Anno D[omi]ni millesimo sexcentis[imo] sexag[esimo] sexto die 7. mensis Augusti fuit graduatus in Artibus M. Dauid Amontons Rotomagæus.

⁵² Une information qui est donc à vérifier : *Revue de Rouen et de la Normandie Littéraire-Historique-Industrielle*, 14^e année, 1846 1^{er} semestre, Rouen, Imprimerie de A. Péron, 1846: 192

⁵³ Rouen, AD76, 2E13/12 : *Minutes de Pierre Chrestien*, janv.-nov. 1693, spéc. 27 sept. 1693. *Contrat de mariage entre Martin Amontons et Marie Madeleine Pellerin*

⁵⁴ HOZIER, CHARLES-RENE D', *Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier*, 35 vols., s.l., s.n., s.d.: 21, 211, n°134

⁵⁵ HOZIER, CHARLES-RENE D', PREVOST, G.-A. (éd.), *Armorial général de France (édit de novembre 1696) : généralité de Rouen, publié d'après le manuscrit de la bibliothèque nationale*, 2 vols., Rouen/Paris, A. Lestringant/ A.Picard fils, 1910: 1, 119, n°134

(Non signé)⁵⁶

Il est nommé à la cure de Fresne le Plan avant celle de Saint Herbland, à Rouen, le 24 juillet 1671⁵⁷, où il ne semble faire qu'un court séjour, puisqu'il est renommé à la cure de Fresne le Plan, le 15 octobre 1672.⁵⁸ Dans les documents que nous avons réunis sur la famille Amontons, il est toujours indiqué comme curé de Fresne le Plan.

Lui aussi prendra blason (Figure 76)⁵⁹, mais il s'agit curieusement du même que celui de la famille Le Sénéchal.⁶⁰



Figure 76 : Blason de David Amontons.

On lit dans le fonds de l'abbé Maurice⁶¹ qu'il fut installé à Fresne le Plan le 16 octobre 1672 par Mathurin Le Vert, curé de Lettequives (Eure). Il donna procuration le 4 mars 1722 pour résigner sa cure en Cour de Rome en faveur de Louis Le Musnier son neveu, curé de Martin Eglise et chapelain titulaire de St Martin à cheval en l'Eglise St Martin du Pont de Rouen, sous réserve de 500 l. de pension viagère et de son logement au presbytère⁶². Louis Le Musnier meurt le 13 juin 1736.

Des scellés sont posés sur la maison mortuaire de David Amontons le 19 mars 1724⁶³, un dimanche, comme il convient à un curé, et on fait l'état de ses biens, notamment une liste de livres, surtout religieux semble t-il. Louis Le Musnier est sur place. Ce Louis est le fils de Catherine Amontons et de Jean Musnier, le banquier en cour de Rome évoqué précédemment.

En outre David Amontons sera le tuteur de la fille unique de Guillaume II Amontons, comme nous allons le voir dans la suite.

⁵⁶ BnF, f. lat., 9155 : registre des lettres de maître-ès-arts délivrées par l'Université de Paris, 1er janvier 1660-24 décembre 1678) : 77 v°

⁵⁷ Rouen, AD76, G. 6133 : Clergé séculier avant 1790, Insinuations ecclésiastiques. Nomination à la cure de Saint-Herbland de Rouen, de David Amontons, 24 juillet 1671. Nous donnons ici la description du répertoire numérique, n'ayant pas vu le document en question.

⁵⁸ G 6130 : 1671-1675 Registre pour servir au greffe des insinuations ecclésiastiques du diocèse de Rouen. Nomination à la cure de Fresne-le-Plan, de David Amontons, en remplacement de M. Le Danois, 15 octobre 1672. Nous n'avons pas vu le document, ceci étant la description du répertoire numérique

⁵⁹ HOZIER, Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier: 21, 648, n°384

⁶⁰Ibid.: 21, 251, n°81 Voir aussi Ibid., 21, 258, n° 117 et n°118.

⁶¹ Rouen, AD76, 1F/13 : Travaux de chercheurs et notes d'érudits, fonds de l'abbé Maurice, Registre de renseignements sur les prêtres du diocèse de Rouen, Flamanvillette, Gruchet-le-Valase.

⁶² Rouen, AD76, G6163 : Clergé séculier avant 1790, Insinuations ecclésiastiques. f°338.

⁶³ Rouen, AD76, 4BP5230 : Cours et juridictions, bailliage et siège présidial de Rouen, scellés et inventaires, Année 1724. spéc. 19 mars 1724. Scellés de David Amontons

Guillaume I est l'autre fils de François II Amontons. Sur lui, nous avons finalement assez peu de renseignements. C'est notamment pour tâcher de retrouver sa trace que nous nous sommes engagé dans un long détour dans la branche rouennaise des Amontons. Quelques éléments ont été trouvés, mais la recherche doit être poursuivie pour parvenir au bout du mystère. Car il existe une énigme concernant le père du futur académicien. En effet, si Fontenelle le décrit comme avocat originaire de Normandie ayant émigré à Paris, les documents que nous avons retrouvé ne font mention de lui que sous la dénomination de "bourgeois de Paris"⁶⁴.

Il faut tout de suite préciser que les qualités sociales utilisées dans un discours sont rarement les mêmes que celles d'un acte notarié. Mais les "bourgeois de Paris" qui se présentent comme tels à leur contrat de mariage, par exemple, sont en général :

-ou bien des salariés, en majorité des domestiques plus ou moins qualifiés au service de particuliers, plus rarement des employés d'administration (commis)

-ou bien des artisans ou des officiers de la police économique (jurés vendeurs de...) dans les actes passés avec des marchands des six-corps en particulier.

Les retraités sont rares. Dans un cas comme dans l'autre, la qualité de "bourgeois de Paris" sert souvent à cacher l'indignité d'une profession par rapport aux activités de la famille et des amis de l'autre partie.

De Guillaume I, on ignore les raisons qui le poussent à émigrer, ainsi que la date exacte à laquelle il émigre à Paris, mais c'est avant 1660, une procuration à cette date le donnant "*bourgeois de Paris, y demeurant proche les galleries du Louvre parroisse de St Germain de l'Auxerrois*"⁶⁵ avec sa femme Esther Du Bié. Le document en question donne procuration pour eux à "*Roland Amontons, marchand mercier grossier demeurant à Rouen, auquel ils ont donné pouvoir de pour eux et en leur nom passer contract de vente à qui que ce soit d'une maison et heritage assize en la ville de Rouen rue de la Savaterie parroisse de Saint Amant, audit Amontons constituant appartenant de son propre comme heritier en partie de feu Me François Amontons, son pere*". Esther autorise la chose, car simplement, étant prévu en cas de prédécès du mari un douaire à la veuve, celui-ci était assis sur tous les biens

⁶⁴ Par exemple : Rouen, AD76, 2E1/2658, Minutes de Nicolas Maubert, juil.-déc. 1660. spéc. 2 septembre 1660, Procuration de Guillaume Amontons et Esther du Bié à Roland Amontons. Voir aussi Paris, Archives nationales, ET/LXXVIII/493 : Minutier Central, Minutes de Hugues Bru, spéc. 18 avril 1702. Contrat de mariage entre Guillaume Amontons et Marie Marguerite Charmoy.

⁶⁵ Rouen, AD76, 2E1/2658, Minutes de Nicolas Maubert, juil.-déc. 1660. spéc. 2 septembre 1660, Procuration de Guillaume Amontons et Esther du Bié à Roland Amontons.

du mari décédé ; dans ces conditions, comme un des biens en question s'apprêtait à être vendu, il fallait qu'Esther Dubié renonce à ce que son douaire repose sur le bien en question, faute de quoi il n'aurait pu être être vendu, étant grevé d'hypothèque.

Esther est un prénom qui doit d'ailleurs attirer notre attention. En effet, c'est un prénom typiquement utilisé dans les milieux protestants. Il s'agit peut être d'une coïncidence, mais des recherches doivent encore être menés en ce sens.

Par ailleurs, il est tentant de penser que David Amontons, le curé, loge chez son oncle lorsqu'il vient passer sa maîtrise ès arts en 1666.

Quoiqu'il en soit, de leur union naît Guillaume II, "*fils de Guillaume Amontons, bourgeois de Paris, et de dame Esther Dubié, sa femme*", baptisé le 31 août 1663, en la paroisse de s^t Cosme et s^t Damien, comme mentionné dans un acte⁶⁶. Si l'on en croît l'éloge de Fontenelle qui donne le 31 août 1663 comme date de la naissance du futur académicien, Guillaume II est donc baptisé le jour même de sa naissance. En outre, si l'enfant est baptisé comme il se doit dans sa paroisse de naissance, il faut remarquer que ses parents ont dû déménager entre 1660 et 1663 pour venir s'installer en ladite paroisse.

L'enfance du futur académicien n'est pas rose, puisqu'il est frappé de surdité alors en classe de troisième (d'après Fontenelle). La vie lui réserve encore d'autres épreuves. L'enfant se retrouve en effet orphelin de père et de mère avant ses 11 ans. Esther du Bié meurt très vite, plus vite même son mari, sans que l'on en connaisse la date exacte. Guillaume I se remarie alors avec une certaine Anne Thérèse Blanche, et meurt avant décembre 1675.⁶⁷ C'est alors Roland Amontons, l'oncle de l'orphelin, qui est nommé tuteur. On peut supposer que l'enfant reste aux soins de sa belle-mère.

Sa famille a alors l'idée de l'orienter dans les ordres. On trouve en effet mention d'une "*attestation de M^r l'archevesque de Paris du XX^e [ou XXI^e] jour de decembre 1674, contenant l'examen de Guillaume Amontons pour parvenir aux ordres de prebstre, registrée au greffe des insinuations ecclesiastiques de Paris le mesme jour*".⁶⁸ Il s'agit en fait de la tonsure ecclésiastique, la toute première étape pour parvenir aux ordres sacrés. Voici par exemple ce qu'en dit Furetière dans son *Dictionnaire* :

⁶⁶ Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye

⁶⁷ Mentionné dans Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701: "Un acte en forme de trasaction passé devant les notaires du Châtelet de Paris le XIXe jour de decembre 1675 entre damoiselle Anne-Thérèse Blanche, vefve de Me Guillaume Amontons et Me Jacques Lemercier, procureur de Me Rolland Amontons, tuteur de Guillaume Amontons son neveu."

⁶⁸ Ibid.

“TONSURE. La première cérémonie qui se fait pour dévouer quelqu’un à l’Église, en le présentant à l’Évêque, qui lui donne le premier degré de Cléricature, qui lui coupe une partie des cheveux avec quelques prières et bénédictions. Un bénéfice à simple *tonsure*, est un bénéfice qui se peut posséder par un enfant de sept ans qui a seulement la *tonsure*. La base et le fondement de tous les ordres [sacrés], c’est la *tonsure*. Celui qui ne justifie pas de ses lettres de *tonsure*, est incapable de tenir bénéfices”⁶⁹

Ceci ne doit pas nous étonner. On pourrait citer plusieurs académiciens de la fin du XVIIe ou du début du XVIIIe siècle pour lesquels une carrière ecclésiastique fut d’abord envisagée et qui ont été tonsurés, sans qu’ils soient pour autant devenus prêtres. Pour n’en citer qu’un, Ennemond Cusset a été tonsuré et a même été tout prêt de parvenir aux ordres majeurs⁷⁰ mais renonça pourtant à une carrière ecclésiastique vers ses 20 ou 25 ans, avant de se marier quelques années plus tard.

Ainsi on a d’abord envisagé pour Guillaume II Amontons une carrière de bénéficiaire ecclésiastique ce qui, après tout, était fréquent à cette époque, surtout dans le cas d’un garçon orphelin de père. Il aurait pu ainsi éventuellement bénéficier des relations ecclésiastiques de ses parents rouennais banquiers en cour de Rome.

On perd alors la trace de Guillaume II Amontons, entre 1675 et 1687, date de sa première apparition à l’Académie Royale des Sciences. Nous n’avons pas fini d’exploiter toutes nos pistes, notamment le fait que son oncle ait été nommé son tuteur. Nous espérons par ce biais déterminer quelle fut la formation de l’académicien, notamment quels collèges il fréquenta. Répétons-le, la recherche que nous présentons ici n’est qu’une étape, et il reste très certainement un nombre considérable de documents à retrouver dans les archives. Concernant les informations relatives à sa carrière d’instrumentiste, d’ingénieur et de scientifique, nous les mentionnons dans un paragraphe *infra* (01.d).

Peu après son entrée à l’Académie se produit un épisode qui semble de toute première importance pour notre homme. En effet, suite à la mort sans descendance de Jacques de la Haye le 19 octobre 1700⁷¹, se pose le problème de l’héritage. On détermine alors qu’il n’existe que trois héritiers : Martin, David et Guillaume II, ses cousins issus de germain, tous les héritiers potentiels de la branche issue d’Hubert Amontons étant morts à cette date. Guillaume II juge l’affaire suffisamment importante pour se rendre en personne à Rouen, où il se trouve dès au moins le 25 octobre 1700. La table des présences de l’académicien aux séances de l’Académie, que nous avons constitué (cf. 5.D.a.i.4), montre que Guillaume II

⁶⁹ FURETIÈRE, *Dictionnaire universel*

⁷⁰ Merci à Guy Picolet pour ces informations, tirés de ses recherches en cours sur l’académicien Ennemond Cusset. Guy Picolet a retrouvé un titre sacerdotal en vue de son accession à la prêtrise.

⁷¹ Rouen, AD76, 2E11/14 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1701, spéc. 28 octobre 1701. Lots et partages entre David, Guillaume et Martin Amontons, 6^e page de l’acte.

Amontons ne se présente pas à celles-ci du 17 novembre au 29 janvier inclus, sachant que la séance précédente, du 13 novembre, était la première de l'année après deux mois de vacances de l'Académie, et publique (les noms ne sont alors pas relevés). Il est certain qu'il ait été présent à Rouen pour l'héritage d'octobre à décembre, mais on ignore ce qu'il fit en janvier 1701. Peut être d'autres détails de la succession l'occupèrent ils. Quoiqu'il en soit, l'affaire prend du temps du fait d'une certaine complexité administrative.

D'une part le fermier du domaine présent lors d'une première tentative de pose des scellés, s'oppose à celle-ci, et réclame à bénéficiaire de la succession, par "droit de déshérence et de bâtardise". Ceci oblige à procédure, qui ne permet à l'inventaire d'être faits qu'à partir du 3 novembre⁷², et ce jusqu'au 18 du même mois.

D'autre part le parlement, par arrêt du 26 du même mois, renvoie les cousins devant la chambre du conseil, pour justifier qu'ils sont bien les seuls héritiers de Jacques de la Haye. En effet le procureur du roi de ce siège affirme, après avoir remarqué un acte (non cité), qu'un oncle du défunt, Guillaume de La Haye, aurait du être appelé. Auquel cas les cousins peuvent faire une croix sur l'héritage. On assiste alors le 9 décembre à un défilé de témoins pour retrouver la trace de l'oncle mystère, qui nous apporte un certain nombre d'informations généalogiques sur la famille Amontons. Comparaisent (dans cet ordre) :

- Me Jean Leprévost, conseiller en la cour, parent de "dame Catherine Amontons", "parent à cause de sa femme, fille du sieur Amontons et ayant liens avec qu'il est dans la famille" (il s'agit sans doute du conseiller qui épouse Catherine Amontons en 1693), dit qu'il n'a "aucune connaissance de l'absence dudit Guillaume de la Haye"
- Jean Lemusnier désigné comme "banquier" et fils de Catherine Amontons et Jean Musnier, "a entendu dire sa mère [de Catherine Amontons, c'est à dire Marguerite Eudes] qui est âgée environ cent ans⁷³ que sy ledit Jacques de la Haye mourroit que ses oncles en seroient héritiers, déclarant qu'il n'a aucune connaissance de l'absence dudit Guillaume de la Haye."
- Maître Paul Antheaunier [ou Anthranet], prêtre, "a dit qu'après le décès de Christophe de la Haye, père de Jacques, il fut appelé comme nommataire à la

⁷² Rouen, AD76, 2E11/13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700.

⁷³ La mère de Catherine Amontons, Marguerite Eudes. Mais il est probable qu'elle n'ait pas 100 ans, auquel cas elle aurait eu 42 ans lors de son mariage avec Roland Amontons alors qu'elle a eu de lui au moins 5 enfants. Il est plus probable qu'elle ait en 1700 80 ou 85 ans.

tutelle dudit Jacques, mais n'a point entendu parler dudit Guillaume de la Haye.”

- Me Jean Leprévost, prêtre, “a dit estre âgé de vingt-sept ans, qu'il a cognu ledit deffunt Jacques de la Haye, mais ne luy a point entendu parler qu'il eust pour oncle ledit Guillaume de la Haye.”
- Charles Leprévost “dit qu'il cognoissoit ledit Jacques de la Haye et a entendu dire à sa mère que ledit Jacques de la Haye n'avoit point de parents paternels.”
- Jean Moulin (ou Roulin), voisin et marchand vigneron “demeurant en la rue Escuyer il y a plus de 25 ans, dans laquelle rue estoit aussy demeurant ledit Jacques de la Haye” n'a pas plus d'informations
- Nicolas de la M..., voisin, marchand “demeurant rue Escuyer depuis l'année 1669 n'a point connu le père dudit Jacques de la Haye ny ledit Guillaume de la Haye et n'en a point entendu parler à son frère ny à sa mère auxquels il parla quelques fois.” Il semble donc que Jacques de la Haye ait eu un frère.
- Jacques [Routtard ?] “dit qu'il y a 14 ans qu'il est demeurant en ladite rue Escuyer et fréquentoit ordinairement avec ledit Jacques de la Haye, lequel luy a dit qu'il n'avoit point d'autres héritiers que lesdits sieurs Amontons.”
- Jean Geudeuille (Guaideralle ?), marchand cartier et voisin, “a dit qu'il a demeuré pendant 35 ans proche dudit Jacques de la Haye, mesme a demeuré deux mois chez luy, mais ne luy a point entendu parler de ses héritiers.”
- Enfin Catherine Amontons, “vefve de Me Jean Lemusnier, banquier, a dit qu'elle a cogueu ledit Jacques de la Haye, mesme Christophe de la Haye son père et Marie Amontons sa mère, mais n'a jamais connu aucuns parents paternels audit Jacques de la Haye, ny de son père”

En somme il n'y a plus en 1700 qu'une cacochyme sans âge pour se souvenir encore d'un vieil oncle dont tout le monde ignore l'existence et sans doute mort depuis des lustres. Suivent ensuite une liste importante d'actes notariés présentés par les parties en présence pour justifier par leur généalogie de leur prétention à succession. Nous avons utilisé bon nombre de ces informations dans les paragraphes précédents. En conséquence de tout cela, il est décidé d'attendre 6 mois pour permettre aux éventuels héritiers au propre paternel de Jacques de La Haye de se manifester

Ce n'est que le 28 octobre 1701 que le partage est fait entre les cousins⁷⁴. La table des présences de Guillaume à l'Académie montre qu'il ne s'y montrera pas avant le 7 décembre. On peut alors supputer qu'il s'attardera en Normandie pour régler diverses paperasseries telle que rédaction de baux, etc. Il hérite d'une maison rue des sautiers, à Rouen paroisse St Amand, de la moitié d'une autre, paroisse st michel, d'une ferme de 18 acres, de 5 acres de terre à Gremonville, et d'une longue liste de rentes que l'on retrouvera presque toutes dans l'inventaire après décès de l'académicien en 1705.

L'acte du 28 octobre nous apprend en outre l'adresse de Guillaume Amontons à cette date : rue des cordiers (paroisse Saint Benoît), près de la rue Saint Jacques et pas loin des jardins du Luxembourg.⁷⁵ Aujourd'hui disparue, elle se situait au lieu où se dressent les bâtiments sud de l'actuel Sorbonne, dans le 5eme arrondissement. Cette adresse est toute proche de la paroisse Saint Côme et Saint Damien où il a été baptisé. A ce sujet, l'étude notariale XXIII est située dans ce quartier. Or Jacques Guesdon, notaire de Guillaume II à partir de 1704, exerce précisément dans cette même étude. Il peut s'agir d'une coïncidence mais ce peut être une piste.

L'année suivante voit se produire le mariage de Guillaume Amontons avec Marie Marguerite Charmoy, fille encore mineure –moins de 25 ans- d'un gros marchand de vins. Il est tentant de voir un lien de cause à effet entre l'héritage dont il bénéficie et ce mariage. Amontons a alors 38 ans, il est membre de l'Académie des Sciences, justifie de rentes substantielles, et peut donc considérer avoir atteint un niveau social et financier qui lui permette de se marier et d'entretenir une famille. Le contrat de mariage est signé le 18 avril 1702 devant le notaire Bru⁷⁶, contrat insinué au Châtelet de Paris le 12 avril 1703, en présence de nombreux amis de Guillaume II, dont nous réservons l'analyse pour un autre paragraphe (cf.*infra*). Il est vraisemblable qu'ils soient tous réunis pour la célébration elle-même, qui a sans doute lieu le jour même ou le lendemain.

⁷⁴ Rouen, AD76, 2E11/14 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1701, spéc. 28 octobre 1701. Lots et partages entre David, Guillaume et Martin Amontons

⁷⁵ FER, NICOLAS DE, "Huitième plan de Paris divisé en ses vingt quartiers [Cote : BNF-Cartes et Plans Ge DD 2987 (0808)]", Paris, l'auteur, 1705

⁷⁶ Paris, Archives nationales, ET/LXXVIII/493 : Minutier Central, Minutes de Hugues Bru. Contrat de mariage entre Guillaume Amontons et Marie Marguerite Charmoy, 18 avril 1702.



Figure 77 : Localisation de la rue des cordiers à Paris, sur le Huitième plan de Paris divisé en ses vingt quartiers, par Nicolas de Fer (1705).

La dot octroyée à sa femme par les parents de la future mariée, consiste en une somme de 6000 livres en avance de leur succession, dont 2400 livres en meubles linges, ustensiles, etc, et 3600 livres sous la forme de nourriture, logement et d'un valet, aux deux futurs époux. Le logement n'est autre que l'appartement qu'occupe déjà Guillaume Amontons en la maison de son beau père, rue Saint Honoré paroisse Saint Germain l'Auxerrois, où est l'enseigne "L'Isle d'Amour", sans doute le nom de la boutique de vins. D'après l'inventaire après décès de l'académicien, on sait que cet appartement se situe au premier étage de la dite maison, et se compose d'une petite cuisine ayant vue sur la cour, une chambre avec la même vue, une autre chambre ayant vue sur la rue Saint Honoré, et un petit cabinet, plus une cave.

On sait que la dot indiquée dans les contrats de mariage était souvent difficile à évaluer du fait précisément des apports en nature. Ceux-ci n'étaient d'ailleurs pas toujours reçus, comme le note ironiquement La Bruyère:

"L'on peut compter sur la dot, le douaire et les conventions, mais faiblement les *nourritures* ; elles dépendent d'une union fragile de la belle-mère et de la bru, et qui périt souvent dans l'année du mariage."⁷⁷

⁷⁷ LA BRUYERE, JEAN DE, JOUHANDEAU, M. & HAUSSER, E. (éd.), *Les caractères*, Paris, Editions Gallimar et Librairie Générale Française, 1965(1688): *De la société et de la conversation*, n°44, 121-122

Dans notre cas, les nourritures furent bien reçues, comme l'indique une mention en marge du contrat de mariage en date du 21 juin 1705.

Par ailleurs, si l'apport du futur était souvent omis dans les contrats de mariage (comme c'est le cas dans le présent contrat d'Amontons), le douaire dû à la veuve était toujours indiqué. Or il y a un rapport peu variable entre le douaire et l'apport du mari, le plus souvent un tiers, parfois la moitié, ce qui permet de fournir un ordre de grandeur relativement fiable de celui-ci. Comme dans le cas du contrat qui nous occupe, le douaire indiqué est de 500 livres de rente en cas d'enfant survivant au décès de l'époux, et de la somme de 10000 livres payable en une seule fois en absence d'enfant, on ne soit pas être très éloigné de la vérité si l'on admet qu'en 1702 la fortune d'Amontons était grosso modo comprise entre 20000 et 30000 livres. Sans constituer un avoir considérable pour l'époque, il pouvait néanmoins assurer une certaine aisance et d'ailleurs il n'est guère éloigné de ce que nous pouvons entrevoir de la fortune à leur mort d'autres académiciens de la même époque, par exemple Tournefort en 1708, Homberg en 1715, Varignon en 1722, etc.

On apprend en outre un luxe de détails sur la famille de la mariée, dont beaucoup de membres sont présents. En plus de Sébastien Charmoy, marchand bourgeois de Paris, et de Marie Marguerite Dupuy, parents de Marie Marguerite Charmoy, assistent également :

- Martin Charmoy, marchand bourgeois de Paris, grand père paternel. En 1676, il plaide et fait imprimer un factum.⁷⁸
- Louis Dupuis, bourgeois de Paris et Gabrielle Fossez sa femme, grands parents maternels. Louis Dupuis est mentionné dans un acte de 1705 comme maître tonnelier et doyen de sa communauté, résidant paroisse Saint Eustache⁷⁹. La signature de Gabrielle Fossez est celle d'une femme usant de l'écrit de manière fréquente, signe d'une bourgeoisie déjà bien dans ses aises.
- Louis et Louis Sébastien Charmoy, frères de la future. Louis, d'après un autre acte, demeure en 1705 Pont Saint Michel, Paroisse saint André des arts⁸⁰
- Claude Dupuis, bourgeois de Paris et oncle maternel, indiqué en 1705 comme étant "maître tonnelier, bourgeois de Paris" et demeurant rue St Nicaise, paroisse Saint Germain l'auxerrois⁸¹

⁷⁸ *JOBERT & CHARMOY, MARTIN, Factum pour Martin Charmois, marchand de vin, bourgeois de Paris... contre Paschal Tridon, sergent à verge au Châtelet de Paris... (Signé : Jobert.), s.l., 1676*

⁷⁹ *Paris, Archives Nationales, Y 4149 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, Nov.-déc. 1705, spéc. 11 décembre 1705. Election des tueurs de Marie Marguerite Charmoy et Marie Madeleine Amontons.*

⁸⁰ *Ibid.*

- Mathieu Dupuis bourgeois de Paris et aussi oncle maternel et Marie Anne Delattre, épouse du dernier,
- Nicolas Dupuis, marchand de vin et oncle maternel, et Charlotte Combault sa femme,
- Charles Aboillard, marchand épicier bourgeois de Paris et Marguerite Dupuis sa femme, tante maternelle. Charles Aboillard sera présent lors de l'élection des tuteurs de la fille et de la femme d'Amontons en 1705. On y lit qu'il réside à cette date rue du Four, quartier St Germain des près, paroisse St Sulpice. Ce personnage meurt le 20 mars 1709⁸², laissant un seul héritier, son fils Charles Michel Aboillard, marchand épicier, bourgeois de Paris, demeurant avec sa mère rue du Four, paroisse St Sulpice. Il s'était marié en 1666 avec sa femme⁸³ Marguerite Dupuis, déjà veuve de Jacques Trubert, aussi marchand épicier bourgeois de Paris, avec un fils. Il résidait déjà rue du four.
- Michel Coulon, marchand de vin, et Marie Madelaine Dupuis, sa femme, tante maternelle
- M^e Jules Sebastien Joly, commis au bureau du contrôle des finances de France, cousin de la future, et dam^{lle} Jeanne Anne Auvergnat son épouse
- Damoiselle Charlotte Le Gay, fille, cousine
- Charlotte Marguerite Parchot, veuve de M^e Claude Auvergnat, lieutenant de la maréchaussée du Bourbonnais

Et du côté des amis de la future :

- M^e Louis Aboillard, procureur au châtelet, déjà présent au mariage de Charles Aboillard avec une Dupuis en 1666⁸⁴
- Dam^{lle} Catherine Rousselle, veuve de François Flahault marchand de vins, bourgeois de Paris et dam^{lle} Françoise Flahaut, fille.

La mention de "Marchand bourgeois de Paris" est une qualité sociale utilisée par l'élite de la marchandise parisienne, par les grands et les petits notables bourgeois. Cette qualité est une revendication d'appartenance au corps politique de la bourgeoisie parisienne.⁸⁵

⁸¹ *Ibid.*

⁸² Paris, Archives nationales, ET/XLIV/ : Minutier Central, Minutes de Nicolas I de Savigny, spéc. 2 mai 1709 : Inventaire après décès de Charles Aboillard.

⁸³ Paris, Archives nationales, ET/C/283 : Minutier Central, Minutes de Guillaume Levesque, spéc. 20 sept. 1666. Contrat de mariage de Charles Aboillard et Marguerite Dupuis (classé entre le 17 et le 18)

⁸⁴ *Ibid.*

Les grands notables sont les marchands des six-corps, à savoir les drapiers, épiciers, merciers, orfèvres, bonnetiers, et pelletiers. Ils ont accès à la grande majorité des lieux de pouvoir urbains : échevinage, consulat –tribunal des marchands-, fabriques paroissiales (avec les notaires).

Les petits notables sont les marchands de vins et les libraires. Les membres de ces corps n'accèdent pas ou très peu à l'échevinage, les plus riches sont marguilliers dans quelques paroisses (ils pourront devenir consul à partir de 1750) ;

Les membres de ces corps peuvent être plus ou moins aisés, mais dans la société d'Ancien Régime, la distinction sociale est fondée de façon secondaire sur les différences de fortune. Les classements sociaux sont opérés avant tout à partir des appartenances corporatives et des qualités qui déterminent des droits différents.

Du mariage de Guillaume et de Marie Marguerite naît une petite fille, Marie Madelaine, en 1705, vraisemblablement en septembre, un mois environ avant la mort de son père.⁸⁶

Guillaume Amontons meurt le 11 octobre 1705 d'une inflammation d'entrailles selon Fontenelle. Une maladie des intestins, donc, qui a dégénéré, la gangrène emportant l'académicien en quelques jours.

Il est alors nécessaire d'élire des tuteurs pour la mineure, ainsi que pour la veuve, puisqu'elle est toujours mineure à cette date, sachant que la majorité est à l'époque de 25 ans. La famille de Guillaume, à savoir Martin et David Amontons, Jean Le Prévost, avocat au parlement de Normandie, Jean Le Musnier, conseiller du roi, banquier en cour de Rome, Louis René Le Musnier, prêtre curé de Martin Eglise, et Jacques Rebut sieur des Costes, décide le 17 octobre devant Poignard et Mauduit à Rouen, de faire de David le tuteur légal de la fille Amontons, et ce jusqu'à la majorité de la veuve Amontons laquelle après sa majorité deviendra tutrice de sa fille mineure, avec comme subrogé tuteur Sébastien Charmoy. Jacques Rebut, sieur des Costes est nommé procureur : c'est lui qui se rendra à Paris pour représenter la famille. Il y est au moins dès le 5 décembre et réside durant son séjour parisien en la maison ayant pour enseigne "La Pomme d'Orange" rue de la chanverrière, paroisse saint

⁸⁵ Cf. CROQ, LAURENCE & LYON-CAEN, NICOLAS, " La notabilité parisienne entre la police et la ville : des définitions aux usages sociaux et politiques", in JEAN-MARIE, L. (ed.), *La Notabilité urbaine, Xe-XVIIIe siècles, Caen, Publications du CRHQ, 2007, 125-157*

⁸⁶ Dans l'inventaire après décès de l'académicien, qui commence le 14 décembre 1705, elle est décrite comme étant âgée de 3 mois environ. Lors de l'éloge funèbre de l'académicien lu par Fontenelle lors de l'assemblée publique mi novembre, celui-ci précise qu'elle a environ deux mois. On peut en conclure que Marie Madelaine Amontons est vraisemblablement né en septembre 1705, environ un mois avant la mort de son père.

Eustache, devenue aujourd'hui une partie de la rue Rambuteau. L'élection des tuteurs devant les notaires du châtelet se fait par acte du 11 décembre.

Pour la veuve Marie Marguerite Charmoy est nommé tuteur, maître Jules Sébastien Joly, son cousin maternel, commis au bureau du contrôle général des finances demeurant à Paris rue du Temple, paroisse Saint Gervais.

Un inventaire après décès est alors réalisé le 14 décembre 1705, et c'est de celui-ci dont nous sommes partis pour retrouver l'ensemble des informations qui composent le début du présent chapitre. On retrouve dans ce document presque l'ensemble des rentes dont Amontons héritent en 1701 de son cousin issu de germain, Jacques de La Haye. Sa veuve précise en outre qu'il y a compte à faire avec le président d'Hocqueville en la cour des aides de Normandie, à cause des fournitures envoyées par Amontons à ce personnage, et de la peine en la conduite des ouvrages en sa terre de Cany. On apprend que les fournitures en question ont été réalisées par le maître fondeur Le Loup, et le serrurier La Vigne, et qu'il y a aussi compte à faire avec eux, ce pour quoi la veuve a été assigné au châtelet à la requête du dit Le Loup par exploit du 21 novembre 1705. Une recherche ultérieure permettra de déterminer de quels ouvrages il s'agit, mais il n'est pas douteux que cela concerne ses activités d'ingénieur.

En outre l'académicien doit 200 livres au notaire Guesdon, qui rédige l'inventaire, ainsi que 520 livres à l'abbé Haranger, chanoine de Saint Germain l'Auxerrois, qui avait célébré le mariage de l'académicien. Cette dernière somme lui a été empruntée par Amontons durant la maladie qui cause sa mort, le billet étant signé par sa femme, car l'académicien était devenu trop faible pour le faire lui même. Celui-ci a fait appel à un médecin, un chirurgien et un apothicaire, et a subi des saignées ; des dettes leur sont dues également.

On apprend d'autres détails sordides, tel le fait que les frais funéraires ont été payés par le beau père d'Amontons, Sébastien Charmoy, qui ne manque pas de les réclamer à sa fille. Des sommes sont également dues à un petit nombre d'artisans et ouvriers.

Nous pourrions nous arrêter ici, mais il serait dommage de ne pas répondre à une question légitime : que devient la fille de Guillaume Amontons ? Il se trouve qu'elle survit. Mais en novembre 1719 meurt son grand père et subrogé tuteur, puis en mars 1724, David Amontons. En conséquence, elle demande à être émancipée, ce qu'on lui accorde par lettres du 13 septembre 1724.⁸⁷

⁸⁷ Rouen, AD76, G 5419 : Clergé séculier avant 1790, Registre des délibérations de la chambre du clergé du diocèse de Rouen (1724-1733), Immatriculation sur les registres du clergé de Marie-Madeline Amontons, 19 décembre 1726. L'acte précise que les lettres ont été insinuées au châtelet le 11 décembre 1724 et entérinées le 23 décembre 1724.

Entretemps sa mère s'est remarié avec un certain Louis Sainson⁸⁸, également curateur de la demoiselle. Marie Magdelaine se marie elle même, avec Louis Tessier, conseiller du Roi, receveur des octrois en la ville de Houdan, le 16 mai 1729 à Triel-sur-Seine, paroisse Saint Martin.⁸⁹

La dernière trace que nous ayons est une quittance de 1738 d'une dette due originellement par Jean Le Tellier à Jacques de La Haye, dette qui faisait partie du lot de Guillaume II Amontons. Les biens de Le Tellier, marchand en fuite, mais pas protestant, seront confisqués et il sera finalement payé à Louis Tessier la somme de 430 livres.⁹⁰ Ici s'éteint tout à fait la piste de la famille Amontons-Charmoy. Passons à présent à l'analyse des amis de Guillaume II Amontons.

⁸⁸ *Ibid.*

⁸⁹ *Archives départementales des Yvelines, 1MIEC169 : Registres paroissiaux BMS, Triel Sur Seine, paroisse St Martin (1708-1734), sp. 16 mai 1729. La fille Amontons écrit son prénom Marie Magdelaine dans la signature.*

⁹⁰ *Rouen, AD76, C2921 : Administrations provinciales, Administration des domaines, Successions 1575-1790, spéc. 7 juillet 1739.*

01.c. LE RESEAU RELATIONNEL D'AMONTONS

Le contrat de mariage de Guillaume II Amontons nous apporte de très précieuses informations en ce qui concerne les relations de l'académicien, par la liste des ses amis alors présents à la signature, sans doute réunis dans l'attente de la célébration imminente du mariage. A la différence de sa femme, aucun parent d'Amontons n'est présent. On sait, de par les recherches que nous avons précédemment exposé, qu'il n'a aucune famille vivant à Paris, du moins n'en avons nous repéré aucune. En lieu et place, une ribambelle de conseillers du roi des plus hauts placés. Citons tout d'abord les amis en question, dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans le contrat de mariage, qui reflète leur importance sociale décroissante. Nous reviendrons ensuite sur quelques uns de ces noms.

- Jean Paul Bignon, conseiller d'Etat ordinaire, abbé de Saint Quentin
- Pierre Marcadé, écuyer, conseiller secrétaire du Roi, maison couronne de France, et de ses finances
- Jeanne Regnard l'épouse de ce dernier
- M^e Louis Le Gay, avocat en la cour
- M^e Charles Marcadé, conseiller du Roi, maître ordinaire en sa chambre des comptes
- Elisabeth de Tourmont, son épouse
- Claude François de la Croix, conseiller du Roi, receveur général des finances de Moulins
- Jean Baptiste Chomel, chevalier,
- Françoise de la Croix, son épouse
- Jean Baptiste Chomel, chevalier, en plus du précédent
- Anne François Hubert, chevalier, seigneur de Faronville, commandeur de l'ordre de Saint Louis
- Hilaire Langlois, écuyer, conseiller du Roi, correcteur ordinaire en sa chambre des comptes
- Pierre Maurice Haranger, chanoine de l'église Saint Germain l'Auxerrois
- Bernard de Fontenelle, le secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences, et membre de l'Académie Française
- Jean Baptiste Bunault, écuyer, sieur de Fremont, conseiller du Roi, auditeur en sa chambre des comptes
- Marie Anne Luillier, son épouse

- Jean François Bunault, écuyer, sieur de Fremont
- Louis Portail, écuyer, seigneur de Marangle
- Claude Carpet, avocat en la cour
- Elisabeth Vaucherot, son épouse
- Arlot, conseiller du Roi, premier médecin de S.A.R. Madame
- Jacques Guesdon, bourgeois de Paris,
- Jean Deshaies, ingénieur du Roi
- Louis Hubin, émailleur ordinaire du Roi
- Louise Hubin, sa fille
- le sieur Thobie, tourneur arquebusier ordinaire du Roi

On le voit, Amontons sait très bien entretenir son réseau. Les amis qu'il se choisit sont d'un niveau social plus que respectable. Il convient donc de ne pas se laisser abuser par le portrait que fait de lui Fontenelle dans son éloge mortuaire, le présentant comme tout à fait incapable de faire fortune, car motivé uniquement par l'avancement des sciences. Sur sa fortune, on a vu qu'elle n'est pas plus faible qu'un Varignon, un Homberg ou un Tournefort à leur mort. Et l'on voit ici son goût pour les relations mondaines, qui n'est certainement pas le signe d'un esprit tout à fait désintéressé des choses de ce monde et de son statut social.

La présence de Bignon, le rénovateur de l'Académie, en charge de celle-ci depuis 1691, n'a rien de surprenant, puisque Amontons n'aurait pas pu entrer à l'Académie sans le connaître ou en être proche. Il est notoire que Bignon a joué un rôle essentiel dans les nominations à l'Académie à partir de 1691, dont il était d'ailleurs président depuis cette date. Dans ces conditions, le livre d'Amontons imprimé en 1694 et publié en 1695, dont nous parlerons *infra*, et dédié "A Messieurs de l'Académie Royale des Sciences" n'a pas pu lui échapper. Il est même probable que Bignon ait connu Amontons plusieurs années auparavant, peut être dès 1687 quand il présente un nouvel hygromètre à l'Académie, et lors de ses premières publications dans le journal des savants.

De même pour la présence de Fontenelle, secrétaire perpétuel depuis 1697 et originaire de Normandie comme Amontons.

Il n'est pas étonnant non plus de voir Louis Hubin,⁹¹ l'émailleur du roi, originaire d'Angleterre et naturalisé français, qui s'est fait connaître dès 1673 par la publication d'une brochure présentant divers instruments qu'il avait fabriqués ou inventés, avec une approbation

⁹¹ Son blason figure in : HOZIER, *Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier*: 24, 1926

de l'académie royale des sciences,⁹² et spécialisé dans les instruments et curiosités savantes : clepsydres, zymosimètres, pèse-liqueurs, thermomètres, larmes de Hollande, etc.⁹³ En effet, comme on le verra dans le paragraphe consacré à la vie scientifique d'Amontons, les deux hommes se fréquentent depuis au moins 1684-1686, aux dires même de l'académicien.

Quant à Jacques Guesdon, c'est probablement le même qui rédigea l'inventaire après décès de l'Académicien en 1705 – il reprend l'étude XXIII en 1704- et vraisemblablement clerc de notaire en 1702. Sa présence suggère qu'il puisse être en charge de la gestion des affaires de Guillaume II Amontons.

Pierre Maurice Haranger en sa qualité de chanoine de l'église Saint Germain l'Auxerrois s'apprête peut être à célébrer le mariage. En tout cas, Amontons conservera des liens avec lui jusqu'à sa mort, comme le montre l'inventaire après décès que nous avons analysé *supra*.

Passons aux Marcadé, et d'abord Pierre, premier cité du fait de son titre de secrétaire du Roi, maison couronne de France, et de ses finances. Mais d'abord qu'est ce qu'un secrétaire du Roi, ou plus exactement un "conseiller secrétaire du Roi maison couronne de France et de ses finances" (ou de "la grande chancellerie de France")⁹⁴? Comme l'énonce Nicolas Shapira, synthétisant les travaux concernant ce sujet à la fin du 17^e s. et au 18^e s.:

"Lorsque l'on évoque l'office de secrétaire du roi, c'est donc d'abord pour la fonction sociale et économique de celui-ci : il permet aux élites robes, marchandes et surtout financières d'accéder à la noblesse, tout en leur offrant les moyens de s'intégrer mieux encore au monde des manieurs d'argent de la monarchie, en accédant à ce « club d'hommes d'affaires » que constitue la compagnie des secrétaires du roi. En outre, pour Daniel Dessert comme pour David Bien, le pouvoir royal utilise cette compagnie comme l'un de ses principaux relais pour attirer vers lui l'argent des élites du royaume. Dans ces travaux, l'office apparaît donc comme un lieu vide. Il n'est considéré que comme une étape ou un aboutissement pour des carrières dont l'enjeu est ailleurs : on devient secrétaire du roi pour mener des activités financières, ou pour couronner une belle carrière par l'accession à la noblesse."⁹⁵

En effet, l'achat à cette charge onéreuse permet d'obtenir pour soi dès l'accession une noblesse de quatrième génération, puis d'en faire bénéficier ses descendants légitimes après

⁹² HUBIN, *Machines nouvellement executees, et en partie inventees par le sieur Hubin, emailleur ordinaire du roy. Premiere partie, ou se trouvent une clepsydre, deux zymosimetres, un peze-liqueur, & un thermometre. Avec quelques observations faites à Orleans, sur les qualitez de l'air, & particulièrement sur sa pesanteur.*, Paris, Chez Jean Cusson & chez l'auteur rue St Martin, 1673

⁹³ DAUMAS, MAURICE, *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF, 1953 On attend toujours une biographie de ce personnage. Il semble extraordinaire qu'aucun travail approfondi n'ait été publié à son sujet jusqu'ici.

⁹⁴ Les archives relatives au collège des secrétaires du roi, dépendants de la grande chancellerie, sont conservés en cote V2 des Archives Nationales de Paris.

⁹⁵ SHAPIRA, NICOLAS "Occuper l'office. Les secrétaires du roi comme secrétaires au XVIIe siècle", *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, n° 51-1, janvier-mars 2004, 2004, pp 36-61: 37 N. Shapira est d'avis que cette description n'est pas entièrement valable pour le 17^e siècle, les historiens ayant eu tendance à projeter sur cette période le résultat d'études centrées sur le siècle suivant, à une époque où les secrétaires du roi sont officiellement dispensés de résidence et de fonction, une disposition qui intervient en 1672.

20 ans de service ou en cas de mort en charge. Maître du temps, le roi anoblit donc par effet rétroactif, les ascendants de l'impétrant, ce qui permet à ce dernier de bénéficier des privilèges associés à l'ancienne noblesse. Parmi ceux-ci, le droit de participer à la vie publique de l'ancien régime (cérémonie du sacre, états-généraux, entrée des rois dans les villes), des droits exceptionnels en matière de justice, et surtout bénéficiaires d'exemptions fiscales, notamment celle de la taille et certains impôts fonciers.⁹⁶

Pierre Marcadé achète sa charge parmi celles nouvellement créées en mai 1691. Marchand orfèvre, bourgeois de Paris et dizainier⁹⁷ à l'Hôtel de Ville, il meurt en charge en 1705⁹⁸, le 3 juillet. Comme témoins figurent entre autres⁹⁹ "Hilaire Langlois, 39 ans, rue Bertin-Poirée, contrôleur des comptes", aussi présent au mariage, ce qui montre qu'ils se connaissent bien, avant celui-ci. Il épouse en 1659 Jeanne Regnard (qui meurt en 1715).¹⁰⁰

Charles Marcadé, qui assiste avec son père au mariage, est son fils unique. Reçu le 20 août 1693¹⁰¹ comme conseiller maître ordinaire du roi en sa chambre des comptes, il deviendra seigneur de Bissy en la paroisse de Bonnelles¹⁰² et décèdera en 1727¹⁰³.

Charles Marcadé se serait marié en 1697 avec son épouse, fille de Pierre de Tourmont, trésorier des finances à Montauban, premier commis de Mr le marquis de *Bartapius*, et de

⁹⁶ Cf. FAVRE-LEJEUNE, CHRISTINE *Les secrétaires du Roi de la Grande chancellerie de France: dictionnaire biographique et généalogique, 1672-1789, 2 vols., Paris, Sedopols, 1986: 1, 11-37*

⁹⁷ "DIZAINIE, se dit aussi d'une certaine division des habitans d'un quartier d'une ville, qui ont relation à un Chef, qui les avertit de ce qu'il faut faire par les ordres de la ville.

DIZAINIER. s.m. est l'Officier qui est commis pour avoir soin d'avertir ceux de la Dizaine des ordres de la ville qu'il faut exécuter. Il y a quatre Dizainiers sous chaque Cinquantenier, duquel ils reçoivent les ordres." (FURETIERE, *Dictionnaire universel*) Les cinquanteniers sont eux mêmes sous les ordres des quarteniers, chefs de quartier.

DIZAINIE, se dit aussi d'une certaine division des habitans d'un quartier d'une ville, qui ont relation à un Chef, qui les avertit de ce qu'il faut faire par les ordres de la ville.

DIZAINIER. s.m. est l'Officier qui est commis pour avoir soin d'avertir ceux de la Dizaine des ordres de la ville qu'il faut exécuter. Il y a quatre Dizainiers sous chaque Cinquantenier, duquel ils reçoivent les ordres.

⁹⁸ FAVRE-LEJEUNE, *Les secrétaires du Roi: 2, 923*

⁹⁹ Les autres : Pierre de la Chambre, 50 ans, curé de la paroisse Sainte-Barthélémy ; François Lefébure, 34 ans, quai Malaquais, grand audancier.

¹⁰⁰ FAVRE-LEJEUNE, *Les secrétaires du Roi: 2, 923* Le mariage entre Pierre Marcadé, marchand orfèvre, fils de Frs et de Suzanne Pimpernelle, de la paroisse St Barthélemy, avec Jeanne Renard [Regnard] fille de Pierre et de Marthe Selle [Gelee] a lieu le 21 avril 1659 à Paris, Saint Eustache, d'après une fiche située sous la cote V.8 E (Fichier des paroissiens de Saint Eustache 1530-1792) des Archives de la ville de Paris, qui reprend elle même un manuscrit de la Bnf (B.N., Fr. 32587, f° 265). Cette dernière information nous a été fournie par M. Eric Poirier, mais nous n'avons pas eu le document entre les mains.

¹⁰¹ D'après COUSTANT D'YANVILLE, H., *Essais historiques et chronologiques, privilèges et attributions nobiliaires et armorial, Paris, J. B. Dumoulin, 1866-1875: 569*

¹⁰² VITU, AUGUSTE, "La maison des Pocquelin et la maison de Regnard aux piliers des halles, 1663-1884", *Mémoires de la Société de l'histoire de Paris et de l'Ile de France, XI, 1884, pp 18-21*

¹⁰³ Paris, Archives nationales, Y5283 : Châtelet de Paris, Parc civil, Registre de clôture d'inventaires (1681-1791), Office provenant du greffier Colin, fév. 1725- oct.1736, sp. 25 juin 1727. Clôture d'inventaire de Charles Marcadé.

Catherine Thérèse de la Baume.¹⁰⁴ On fait figurer ci-dessous son blason et celui de sa femme¹⁰⁵ :

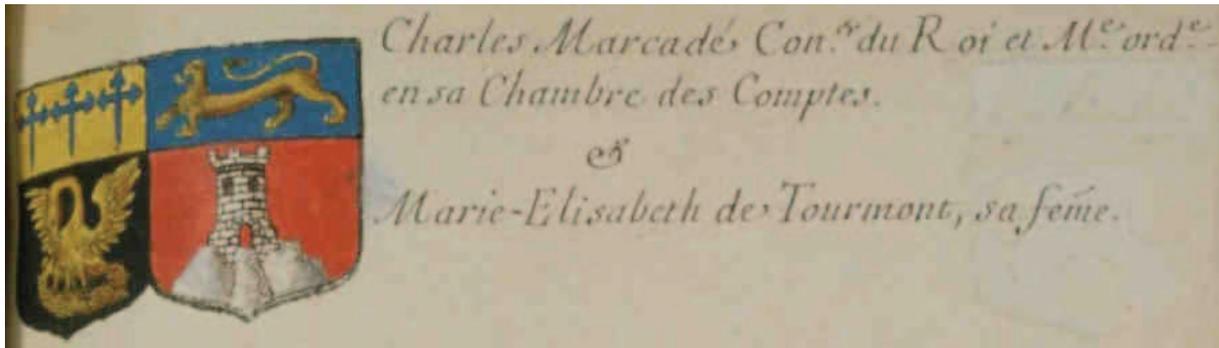


Figure 78 : Blasons de Charles Marcadé et Marie-Elisabeth de Tourmont

A sa mort, il réside Quai de Conti, paroisse saint André des arts, c'est à dire tout proche de la statue équestre d'Henri IV à l'extrémité Ouest de l'île du Palais (aujourd'hui île de la Cité), et ceci à son importance puisqu'en 1703 et 1704, Amontons utilisera les services d'un ami qu'il ne nomme pas mais habitant cette même adresse, pour mesurer les hauteurs de la seine pendant plus d'un an (cf. *infra*). Charles Marcadé pourrait donc être cet ami et partager avec Amontons son goût pour les sujets scientifiques. La question est posée, et il nous faudra creuser la recherche pour savoir si Charles Marcadé habitait déjà Quai de Conti, ou Quai de Guénégaud (son ancien nom), à l'époque des mesures, ce qu'on ne peut manquer de trouver pour un personnage de cette importance. Il s'agira aussi de vérifier qu'aucun autre de ses amis n'habitait tout proche de ce quai.

Quelques mots sur la chambre des comptes, puisque trois des amis d'Amontons en font parti, et sur les fonctions des différents officiers. L'encyclopédie éditée quelques années plus tard nous précise qu'elle est composée de plusieurs ordres :

[...] le premier président, douze autres présidens, soixante - dix - huit maîtres, trente - huit correcteurs, quatre - vingt - deux auditeurs, un avocat, & un procureur général; deux greffiers en chef, un commis au plunitif, deux commis du greffe, trois contrôleurs du greffe, un payeur des gages qui remplit les trois offices, & trois contrôleurs desdits offices, un premier huissier, un contrôleur des restes, un garde des livres, vingt - neuf procureurs, & trente huissiers.

[...] Les officiers servent un semestre par an. Les conseillers - maîtres sont juges de toutes les matieres de la compétence de la chambre, conjointement avec les présidens, & en l'absence de ceux - ci ils ont le droit de présider. Ce sont eux qui sont rapporteurs au grand bureau des ordonnances, édits, déclarations du Roi, & de toutes les lettres - patentes qui y sont présentées, soit par le ministere public, ou par les particuliers qui les ont obtenus; comme aussi de toutes les instances de correction & autres, & généralement de toutes requêtes de quelque nature qu'elles soient [...]

¹⁰⁴ Le 9 janvier. Bartapius : lecture incertaine. Idem que note 100 : manuscrit BN. Fr. 32587, f°127. Information non vérifiée par nous.

¹⁰⁵ HOZIER, *Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier*: 23, 349

Les conseillers correcteurs : [...] Le lieu où ils s'assemblent se nomme la chambre de la correction; elle joint au dépôt des contrôles, dont la garde leur est confiée comme nécessaire à la vérification des recettes & dépenses des comptes dont ils font la correction. [...] Le conseiller - correcteur à qui la correction est distribuée, s'associe un de ses confreres pour travailler à la vérification des comptes, & examiner s'il y a matière à correction. [...] L'objet principal des corrections est de réformer les omissions de recette, faux ou doubles emplois, les erreurs de calcul & de fait qui ont pu se glisser dans les comptes.

Les conseillers du Roi auditeurs en la chambre des comptes de Paris [...] sont distribués en six chambres appellées du trésor, de France, de Languedoc, de Champagne, d'Anjou, & des monnoies.[...] La fonction qui les occupe le plus, est l'examen ou le rapport de tous les comptes qui se rendent en la chambre, & qui leur sont distribués.¹⁰⁶

En tant que maître des comptes, Charles Marcadé est donc presque au sommet de la hiérarchie. Hilaire Langlois n'est que correcteur, mais bénéficie d'une notice substantielle chez Couston d'Yanville, où il figure au nom d'Hilaire-Hercule Langlois. Fils de Vincent Langlois, sieur de Blacfort, contrôleur de la maison de la reine Marie de Médicis, et de Marie de l'Estoile -fille de Pierre de l'Estoile, Grand-Audencier de France, et de Colombe Marteau (2^e lit)-, il fut reçu correcteur des comptes le 30 juin 1680, au lieu de François-Nicolas Huguet, et restera en exercice jusqu'en avril 1709, date à laquelle il quitta sa charge en faveur de son fils, Hilaire Louis.¹⁰⁷

Enfin Jean Baptiste Bunault, écuyer, sieur de Fremont, auditeur de la chambre des comptes, est le moins gradé des trois. Conformément au fonctionnement de la chambre, il devait travailler chez lui.¹⁰⁸ Coustant d'Yanville ne mentionne pas de Jean-Baptiste, mais seulement un Joseph-François, qui entre en 1688, et qui plus est sans notice bibliographique ni armes. Il convient donc prendre cette information prudemment. En revanche, l'armorial général d'Hozier indique¹⁰⁹ un Jean Bunault de Fremont, Ecuyer, conseiller du Roi, Auditeur

¹⁰⁶ Cf. D'ALEMBERT & DIDEROT, *Encyclopédie*: 3, 786-789: COMPTE, *Chambre des*

¹⁰⁷ COUSTANT D'YANVILLE, *Essais historiques et chronologiques, privilèges et attributions nobiliaires et armorial*: 707 *Ses armes sont en outre précisées : D'argent à l'aigle de sable, le vol abaissé ; au chef d'azur, chargé de trois croissants d'argent. La même source indique un André Langlois échevin de paris, auditeur des comptes reçut le 9 janvier 1651, jusqu'en octobre 1661 (p.812), de la même famille sans qu'il soit précisé le lien ; un Jean Langlois, frère du correcteur, reçut Auditeur le 27 octobre 1671 jusqu'en 1708 (p.897) ; un Henry (alias Julien) -Hilaire Langlois, fils du correcteur, reçut Auditeur le 11 juillet 1712, jusqu'au 13 octobre 1764 (décès) (p.903) ; François-Isidore de Blacfort, petit fils du correcteur, reçut Auditeur le 31 août 1729, jusqu'au 27 février 1745 (décès) (p.906) ; et Clément-Henry Langlois, sieur de Blacfort, peut être fils du dernier, reçut Auditeur le 9 décembre 1746, jusqu'au 22 novembre 1770, date à laquelle il passa Maître des comptes, en exercice à cette charge jusqu'en juillet 1785 (pp. 596 et 910).*

Par ailleurs Dessert indique un Jean Baptiste Langlois (qui meurt en 1719), normand originaire de Louviers, et avocat, ayant été employé dans la période 1675-ça comme receveur des greniers à sel. Il a de nombreux appuis au parlement de Rouen. Ce personnage est-il lié en une quelconque manière avec Guillaume I Amontons, le père de l'Académicien, lui même avocat originaire de Normandie ?

¹⁰⁸ *Grandjean de Fouchy, le futur secrétaire perpétuel de l'Académie, commencera également par être auditeur. Cf. CHAPRON-TOUZE, MICHELLE & CREPEL, PIERRE, "L'octant et la plume. Grandjean de Fouchy, astronome et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences", Revue d'histoire des sciences, n° 61-1, janvier-juin, 2008, pp 7-23: 13*

¹⁰⁹ HOZIER, *Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier*: 24, 1130

des comptes, ainsi que sa femme Marie-Anne L'Huillier. C'est donc bien le même personnage. Jean-François Bunault est probablement leur fils.

Ensuite vient la famille Delacroix/Chomel. Le premier piège à éviter est de ne pas confondre le Jean Baptiste Chomel du contrat de mariage au médecin (Pierre-) Jean-Baptiste Chomel (1671-1740), élève botaniste de Tournefort à l'Académie des Sciences à partir du 26 juillet 1702. L'armorial d'Hozier fait bien la différence et le Jean-Baptiste Chomel dont il est question y apparaît avec sa femme Françoise de la Croix. Il y est indiqué comme premier chambellan de Monsieur,¹¹⁰ le frère unique de Louis XIV, mort en 1701.

Sa famille provient du Vivarais, et la lignée parisienne remonte à Pierre Chomel, fils d'Etienne et de Catherine Moureton, Receveur Général à Lyon et trésorier général des lignes des Suisses et Grisons. Pierre épouse en 1598 Anne des Bugnons, et ils eurent plusieurs fils, dont Antoine Chomel, maître des requêtes, conseiller d'Etat, anobli par ses charges, qui meurt en 1654. Antoine épouse Charlotte Séguier de Saint Brisson en 1632. C'est le fils de ce dernier couple, Jean-Baptiste Chomel, que nous retrouvons au mariage, et lui même père de Louis-Armand Chomel, évêque d'Orange en 1721¹¹¹.

Or Daniel Dessert indique un J.B. Chomel, chevalier, participant à toutes les entreprises brassés par Charles Le Noble¹¹², comme associé, y compris les vivres aux armées d'Italie pendant la guerre de la Ligue d'Augsbourg (1688-1697), "*se comportant en vulgaire partisan et sous-associant, dans sa propre part, un payeur des rentes, Antoine Godemel*"¹¹³.

Claude-François est aussi un financier, mais de plus grande envergure. Né en 1655 et mort en 1729, il est receveur général alternatif mi-triennal des finances de Moulins de 1676 à 1729, c'est à dire qu'il participe à la recette de l'impôt direct. Il est le fils de Claude Delacroix, à ce même poste de 1643 à 1676, et de Françoise Feillet, fille d'Anne Godefroy et de Jean Feillet, receveur des tailles de l'élection de Moulins. Il se marie en 1710 avec Magdelaine Jonas¹¹⁴, n'aura pas d'enfants, et possède un hotel sis rue Saint Antoine.¹¹⁵

¹¹⁰ Ibid.: 23, 121

¹¹¹ et démissionnaire en 1731, mort en 1780 à 92 ans. Ce rameau de la famille Chomel s'est éteint avec ce prélat et son neveu, Jean-François Chomel, né en 1726, officier de cavalerie marié en 1748 à Mlle de la Forest. Toutes ces informations sont tirées de : CHAIX D'EST ANGE, GUSTAVE, Dictionnaire des familles françaises anciennes ou notable, à la fin du XIXe siècle, 20 vols., Evreux, C. Hérissez, 1903-1929: X, 386 sq.

¹¹² Greffier en chef des eaux et forêts de France, puis lieutenant général de la table de marbre, traitant très actif durant la guerre de la Ligue d'Augsbourg, pendant laquelle il participe à 18 affaires extraordinaires. Il prend part aussi à des sociétés pour la fourniture de vivres aux armées. (DESSERT, DANIEL, Argent, pouvoir et société au Grand Siècle, Paris, Fayard, 1984: 633)

¹¹³ Ibid.: 356

¹¹⁴ Paris, Archives nationales, ET/LXII/292 : Minutier Central, Minutes de Charles veillart, spéc. 26 sept. 1710 : Contrat de mariage entre Claude-François Delacroix et Magdelaine Jonas. Dessert (Ibid.: 613) indique cependant qu'il épouse en 1711 une certaine Mlle de Jai, demoiselle de Bissuet.

Daniel Dessert nous indique par ailleurs qu'il fut l'un des traitants les plus notables de la fin du règne de Louis XIV, participant entre 1688 et 1708 à 70 traités. En sus de ces activités financières, on le rencontre dans les sociétés pour la fourniture de vivres aux armées, comme J.B. Chomel, et dans les armements maritimes.¹¹⁶

Par ailleurs, le texte de la notice 5156-5157 du terrier de la Censive de l'Archevêché de Paris permet d'identifier Françoise de la Croix comme nièce de Claude François de la Croix (il fait don de son hôtel de la rue Saint Antoine à son petit neveu Jean-Baptiste-Charles Chomel, lors du mariage de ce dernier dans une très illustre famille, les Guines de Souastre).¹¹⁷

La présence de sa nièce est sans doute celle de la maîtresse de maison, accompagnant avec son mari un oncle encore vieux garçon. Il semble donc a priori qu'il faille plutôt chercher du côté de Claude de la Croix le lien qui unit Guillaume II Amontons à cette famille mais la recherche est en cours pour en déterminer la nature. Une piste sérieuse est fournie par les intérêts des Delacroix et Chomel dans les affaires militaires durant la guerre de la ligue d'Augsbourg : est-ce un hasard si en plein milieu de celle-ci, Amontons présente à l'Académie un projet de nouveau ponton pour l'armée, plus commode, plus solide, et plus économique, en 1694 (cf. *infra*)?

En termes militaires cependant, nous avons un représentant direct, qui pourrait tout à fait se voir attribuer l'hypothèse précédente : Anne François Hubert, écuyer, sieur de Faronville¹¹⁸ et de Landerille, était major du régiment de Berry, lieutenant colonel de celui de Conty cavalerie, lorsqu'il reçut, à la création de l'ordre de St Louis, l'une des écharpes de commandeur (avec 3000 livres de rentes).¹¹⁹

¹¹⁵ Les informations de ce paragraphe sont tirées de : CLAEYS, THIERRY, *Dictionnaire biographique des financiers en France au XVIIIe siècle, vol. 1 (A-K)*, Paris, S.P.M., 2008: 630, DELACROIX (Claude François) Le second tome n'est pas encore paru.

¹¹⁶ DESSERT, *Argent, pouvoir et société au Grand Siècle: 613-614 Le père de Claude-François prend part quant à lui au programme maritime et commercial proposé par Colbert, en devenant actionnaire de la Compagnie du Nord.*

¹¹⁷ LA MONNERAYE, J. D., DERENS, I. & VERLET, H. (éd.), *Terrier de la censive de l'Archevêché dans Paris, 3 vols.*, Paris, Imprimerie Nationale, 1906-2005: T.II, 2e partie *On a retrouvé le contrat de mariage* : Paris, Archives Nationales, Y 4651 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Sept. 1746, spéc. 17 sept. 1746. Mariage de Jean-Baptiste-Charles Chomel

¹¹⁸ *Aujourd'hui sur le territoire de la commune d'Outarville, département du Loiret (45), région Centre.*

¹¹⁹ HOZIER, JEAN-FRANÇOIS-LOUIS D', *Recueil de tous les membres composant l'ordre royal et militaire de Saint-Louis, depuis l'année 1693, époque de sa fondation; précédé des édits de création et autres relatifs audit ordre*, 2 vols., Paris, Au bureau général du Bon Français, 1817-1818: I, 126 COLLEVILLE, LUDOVIC DE, *Les ordres du roi : répertoire général contenant les noms et qualités de tous les chevaliers des ordres royaux militaires et chevaleresques ayant existé en France de 1099 à 1830, d'après les brevets originaux des Archives nationales, avec une histoire des ordres du Saint-Esprit, de Saint-Michel, de Saint-Louis, etc.*, Versailles, Mémoires & documents, 2001 (fac-sim. de l'éd. de 1925)

A ce propos, il faut préciser que le sieur Thobie, tourneur arquebusier ordinaire du roi, n'est pas un militaire qui tire à l'arquebuse, mais un artisan chargé de la fabrication des arquebuses, mousquets, fusils, canons, et autres armes à feu, ainsi que les outils et instruments servant à les monter, démonter, nettoyer, charger et décharger. Sur ce personnage nous n'avons pas d'éléments, si ce n'est un acte de tutelle de 1730, qui nous apprend son prénom (Louis), son adresse (Rue Galande), et qu'il est l'oncle maternel de Marie Magdeleine et Jean Joseph Bernier, enfants mineurs.¹²⁰ Néanmoins, on peut facilement inférer qu'Amontons trouvera en lui un interlocuteur privilégié, voir la source, de ses expériences sur la poudre de décembre 1702 et août 1703.

Le cas Jean Deshaies, ingénieur du roi, est particulièrement ardu. Plusieurs professeur de mathématique et/ou ingénieurs du roi de ce nom ont vécu au tournant des 17^e et 18^e siècle, sans qu'on sache au juste s'ils ont des liens entre eux. En ce qui nous concerne, il s'agit surtout de savoir si le signataire du contrat de mariage a quelque chose à voir avec le Jean Deshayes qui a collaboré plusieurs fois avec l'Académie royale des sciences notamment en 1681-82 lors de la mission qu'il a accompli avec Varin et de Glos au Cap Vert et aux Antilles, en 1683 à l'occasion des travaux de la prolongation de la méridienne de Picard, en 1685-86 pour des observations astronomiques et cartographiques au Canada, etc.¹²¹ Peut être aussi notre Jean Deshaies a-t-il à voir avec le Jean Deshayes, professeur ès mathématiques à Paris, qui a publié deux ouvrages, l'un sur *L'usage du compas de proportion...*¹²² dédié à Colbert d'Ormoy en 1681 et 1685, l'autre sur *La théorie et la pratique du nivellement*¹²³ en 1685 et 1695. La question reste en suspens.

Reste 5 personnages, sur lequel nous devons encore faire des recherches spécifiques, et dont il serait fastidieux et inutile pour le lecteur d'en entendre les conjectures :

- M^e Louis Le Gay, avocat en la cour
- Louis Portail, écuyer, seigneur de Marangle
- Claude Carpet, avocat en la cour
- Elisabeth Vaucherot, son épouse

¹²⁰ Paris, Archives Nationales, Y4458 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, août 1730, spéc. 14 août 1730. Elections de tuteurs de Marie Magdeleine et Jean Joseph Bernier.

¹²¹ Guy Picolet, dans une correspondance personnelle, est d'avis qu'il pourrait s'agir d'un personnage différent, car le collaborateur de l'Académie signe "Deshayes" et non "Deshaies", avec un d en outre différent. Mais de rajouter qu'il s'agit d'une inférence fragile, les deux actes étant distant d'une vingtaine d'années, au cours desquelles sa signature a pu changer.

¹²² HENRION, DIDIER, DESHAYES, J. (éd.), *L'usage du compas de proportion...* Paris, l'auteur, 1681

¹²³ DESHAYES, JEAN, *La théorie et la pratique du nivellement*, Paris, l'auteur, 1685

- Arlot, conseiller du Roi, premier médecin de S.A.R. Madame, Raymond de son prénom, et qui meurt en 1709

01.d. AMONTONS, INSTRUMENTISTE, INGENIEUR, ET SCIENTIFIQUE (1687-1705)

01.d.i L'INSTRUMENTISTE



Figure 79 : Hygromètre d'Amontons
présenté en 1687 devant l'Académie

Amontons a arpenté longtemps les couloirs de l'Académie avant de se voir proposer un poste, et encore ne bénéficiera-t-il pas d'une pension. C'est Hubin, l'émailleur du Roi, qui l'y introduit en 1687, le 26 juillet¹²⁴. Du moins, c'est la première mention du nom d'Amontons que nous ayons dans les procès-verbaux de l'Académie. Il a 24 ans. Preuve qu'il n'y est pas encore connu, le secrétaire le nomme "Monsieur d'Amontons"¹²⁵. Il s'y présente comme instrumentiste, puisqu'il propose un "hydromètre"¹²⁶ de nouvelle construction, dont l'explication et la figure sont insérés à la fin du volume.¹²⁷ Le principe de cet instrument consiste à relier un tuyau de verre vertical de deux ou trois pies et rempli de deux liqueurs, à une boule de cuir. Le volume de celle-ci dépendant du degré d'humidité de l'air environnant, le point de séparation entre les deux liqueurs sera d'autant plus bas que l'humidité est forte. Les académiciens, intéressés, lui demandent de revenir la semaine suivante pour montrer son invention. Amontons s'exécute et revient avec Hubin¹²⁸. Des expériences sont alors faites avec un linge mouillé et confirme le caractère opératoire du nouvel hygromètre. Les académiciens notent cependant que la chaleur perturbe les mesures, puisque la liqueur baisse assez vite lorsque la boule de cuire est mise en contact avec une main. Le texte montre à l'évidence la collaboration entre

¹²⁴ *PVARS: 12, 1686-1689, 48r°*

¹²⁵ *Ibid.: 12, 1686-1689, 48v°*

¹²⁶ *Un hygromètre, donc.*

¹²⁷ *PVARS: 12, 1686-1689, 150 r° sq*

¹²⁸ *Ibid.: 12, 1686-1689, 280 v°*

Hubin et Amontons. On en trouve confirmation dans une lettre envoyée à Régis le 8 mars 1688 et publiée dans le *Journal des Sçavans* de la même année¹²⁹. Amontons y présente son “hydromètre” sous une forme un peu plus perfectionnée. L’article se termine par ces mots :

Les curieux en trouveront de l’une & l’autre manière [portative] chez le fameux Mr. Hubin qui apporte tous ses soins à favoriser les nouvelles découvertes.¹³⁰

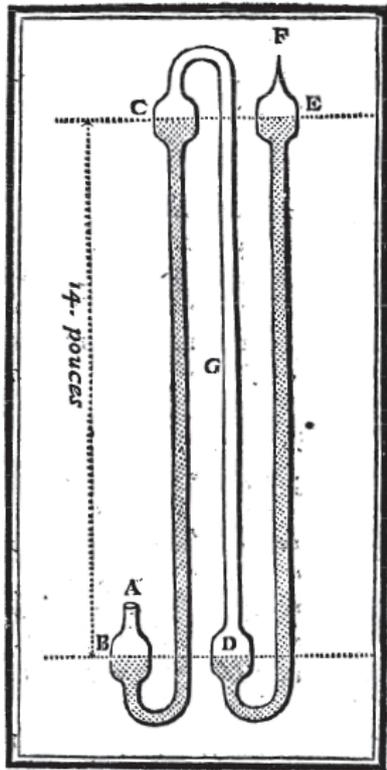


Figure 80 : Tube à vide d’Amontons, qu’il transformera en baromètre (1688)

Amontons revient l’année suivante, 1688, pour présenter cette fois-ci un tube pour faire le vide par la seule pesanteur du mercure. Le mémoire présenté par l’instrumentiste est inséré à la date du 28 avril 1688, mais daté du 27 mars. Il est vraisemblable qu’Amontons soit venu plusieurs fois tout comme en 1687, d’abord pour présenter le principe, ensuite pour en montrer une ou plusieurs expériences, sans que le secrétaire prenne la peine de noter ces diverses interventions. Rien d’étonnant à cela, on sait que les procès verbaux de l’époque sont lacunaires. L’invention consiste en une succession de tubes recourbés remplis partiellement de mercure dont le siphonage doit permettre l’apparition d’une colonne de vide. Soucieux de concision, il ne développe pas son mémoire les différentes applications

d’un tel tube, mais on sait par une deuxième lettre qu’il envoie au *Journal des Sçavans* en 1688, qu’il a fait de ces tubes un baromètre, de 14 pouces de hauteur seulement¹³¹.

Suivent 5 années pendant lesquelles les PV ne mentionnent plus le nom du futur académicien. Amontons continue sans doute ses recherches et ses relations, puisqu’il revient en 1693 avec un autre instrument, une clepsydre¹³². La description n’est cependant pas insérée dans les registres contrairement à la mention portée sur celui-ci. Amontons rapportera plus tard les impressions des académiciens sur cette clepsydre :

“[...] ils témoignèrent être satisfaits, convinrent tous unanimement, que la pensée en étoit heureuse, que la construction avoit l’avantage d’une grande simplicité, & me promirent obligeamment d’inscrire dans leur

¹²⁹ *J. savants*: 1688, 245-247

¹³⁰ *Ibid.*: 1688, 247

¹³¹ *Ibid.*: 1688, 394-395

¹³² *PVARS*: 12, 1686-1689, 122^o

registre la description que je leur en donnay ; ce qu'ils m'ont déjà accordé plusieurs fois, lorsque j'ay eu l'avantage de leur présenter d'autres productions"¹³³

Dans la même veine, Amontons publie en 1695, à 31 ans, son premier et unique ouvrage, intitulé *Remarques et experiences phisiques sur la construction d'une nouvelle clepsidre, sur les barometres, termometres et higrometres*. Au delà de l'intérêt scientifique qu'il présente, sa composition reflète à l'évidence les prétentions de l'auteur à briguer un poste à l'Académie. Dédié à ces messieurs de l'Académie Royale des Sciences, l'ouvrage est examiné et approuvé par Philippe de la Hire le 28 juillet 1694, obtient par lettres patentes du Roi, signées Le Febvre le 7 août, son privilège et est achevé d'imprimer pour la première fois le 20 novembre 1694. Amontons confie à Jean Jombert le soin de l'impression en lui cédant son privilège.

L'épître dédicatoire exprime les ambitions de l'auteur envers les membres de l'Académie. Appelant leur bienveillance vis à vis de ce livre, Amontons affirme l'identité de sa démarche d'avec celle des Académiciens :

“La matiere que je traite est à vous, mon dessein a le bonheur de concourir avec le vostre, je veux dire, qu'il a l'utilité publique pour objet”¹³⁴

C'est pourquoi, leur faisant révérence, il affirme :

“[...] tout cela, MESSIEURS, me persuade fortement que je trouveray en vous, & des juges équitables, & de puissans protecteurs. Pour tant de bontez, MESSIEURS, que ne dois-je pas faire afin de vous en marquer ma reconnoissance ?”

Les relations d'Amontons avec l'Académie semblent excellentes aux dires de l'Auteur. L'avertissement nous offre également quelques informations sur les sujets traités par Amontons à cette époque. Il y affirme s'être appliqué pendant un temps assez considérable à la connaissance des longitudes tant par la connaissance des astres et de leurs mouvements, que par l'usage des cartes hydrographiques et des horloges. La découverte de la nouvelle clepsidre qu'il traite dans cet ouvrage, et qui est une amélioration de celle dont il est question dans les PV de l'Académie de 1693, se place dans cette réflexion. L'intention de l'auteur est ici de permettre la mesure du temps, et donc des longitudes, en mer. Il faut donc remarquer qu'Amontons s'intéresse dès cette date à l'astronomie, et c'est d'ailleurs comme élève astronome qu'il entrera dans l'honorable institution en 1699. Pourtant, ses travaux astronomiques se réduiront, de cette date jusqu'à sa mort, à un simple projet de sphère céleste,

¹³³ AMONTONS, *Remarques & Expériences Phisiques sur la construction d'une nouvelle Clepsidre, sur les Barometres, Thermometres, & Hygrometres*: 30

¹³⁴ *Ibid.*: Epistre, n.p.

dont rien n'indique en outre qu'il fut un jour réalisé. Il propose également divers baromètres et réitère sa description de l'hygromètre de 1687.

Il encense Hubin, "émailleur ordinaire du roy, si connu de tous les sçavans", qui a exécuté ses idées. C'est Hubin, dit-il, qui lui a mis entre les mains "l'extrait du livre de *Sanctorius*", et qui le tenait lui-même de monsieur de Rosambo, conseiller du roi au parlement de Bretagne. Il s'agit certainement de *Commentaria in primam "fen" primi libri canonis Avicennae... cum triplici indice...* de Santorio Santori (1561-1636), médecin et physiologiste padouan, auteur d'un thermoscope à usage clinique¹³⁵.

A propos d'Hubin, il énonce à propos du thermomètre à air qu'il donne à la fin de son ouvrage, qu'il a donné à Hubin "il y a huit ou dix ans", c'est à dire vers 1684-86, "plusieurs machines de verre" qu'Hubin avait déjà exécuté. Mais il ne prit pas garde à la proposition d'Amontons d'ajouter une troisième liqueur au baromètre, jusqu'à ce qu'il aille en Angleterre, où les mêmes choses lui furent proposées par un certain Hovckt de la Royal Society¹³⁶

Amontons cite dans le cours de l'ouvrage Perrault et à plusieurs reprises Mariotte et son *Traité du mouvement des eaux* (pp. 62, 80). Il cite par ailleurs le traité du mouvement des vents d'Isaac Vossius (1618-1689), auteur néerlandais¹³⁷, ainsi que des expériences de Homberg tirées des *Mémoires de mathématiques* du mois de février 1693.¹³⁸

On y apprend également une invention qu'il donna en 1691 au président Cousin pour être insérée dans le *Journal des Sçavans*, mais perdu entre temps, consistant en un tambour de marbre, à l'usage des clepsydres. Mais Amontons ne s'y étend pas (p.9).

Il fait part en outre de ses réflexions concernant les liens théorie/pratique :

"[...] & l'on pourra connoître par l'état auquel je l'ay réduite depuis de combien la théorie est obligée en de certaines choses de relâcher de ses droits pour s'accorder à l'exécution. *Quelle difference il y a entre penser & faire*, & combien les plus belles inventions perdent souvent de leur premier état par l'imperfection de la matiere dont nous sommes obligez de nous servir."¹³⁹ (p.13-14).

C'est une vue assez moderne en ce qu'elle n'exprime pas, au contraire de certains discours de Fontenelle ou de Parent, une sorte de volonté de subordination de la matérialité à

¹³⁵ SANTORI, SANTORIO, *Commentaria in primam "fen" primi libri canonis Avicennae... cum triplici indice...*, Venetiis, J. Sarcinam, 1625

¹³⁶ Nous n'avons pas réussi à identifier ce personnage.

¹³⁷ p. 54. VOSSIUS, ISAAC, *Le Guidon de la navigation, ou Traicté du mouvement de la mer et des vents*, Trad. par LE CHASTELAIN DE CRECY, Paris, F. Clousier, 1666 Vossius sera cité de nouveau en 1705 in *ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: 1705, M, 76 Le sujet du mémoire porte sur la dilatation des vaisseaux de verre sous l'effét de la chaleur. Amontons y donne explicitement une citation tirée du chap. 11 de la traduction faite par le Châtelain de Crécy.*

¹³⁸ Guillaume Homberg, *Experiences sur la glace dans le vuide*, in *ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, Mémoires de Mathématiques et de Physique, tirez des registres de l'Académie royale des sciences*, 2 vols., Paris, Imprimerie Royale, 1692-93: 2, 19 sq.

¹³⁹ nous soulignons

la théorie. Amontons, comme homme de l'art, mais aussi comme impliqué dans la théorie (sur les propriétés de l'air), sait bien toute la vacuité d'une réduction totale de la matière à la théorie, du moins dans l'état des connaissances de l'époque.

01.d.ii L'INVENTEUR ET INGENIEUR

5.D.a.i.1 En dehors de l'Académie

5.D.a.i.1.1 Le sémaphore (télégraphe optique) : A Meudon en 1695 ou 1696

Amontons fera la joie de dizaines ouvrages consacrés aux merveilles de la science au 19^e siècle, d'où affleure souvent un patriotisme tout dix-neuviémiste, pour son invention que l'on présente alors comme le premier sémaphore de l'histoire, avant même celui de Chappe. Toutes les sources reprennent Fontenelle, qui le révèle dans l'éloge de l'Académicien, et il semble qu'aucun de ces ouvrages ne soit allé chercher plus loin. Voici ce qu'il en dit.

Le sémaphore d'Amontons, qui ne portait à l'époque ni ce nom ni aucun d'ailleurs, consistait à transmettre, à l'aide de longues vues, des signaux envoyés de poste en poste d'autant plus éloignés que les lunettes étaient puissantes. Les différents signaux constitués un alphabet, dont on avait le chiffre qu'au point d'arrivée et de départ. Une expérience "sur une petite étendue de pays" fut tentée par deux fois, l'une devant Monseigneur (à ne pas confondre avec Monsieur), et l'autre devant Madame, toujours selon Fontenelle. C'est à dire ni plus ni moins que le Grand Dauphin Louis de France (1661-1711) et l'épouse du frère de Louis XIV, Charlotte-Elisabeth de Bavière (1652-1722) aussi appelée la Princesse Palatine. Fontenelle ne mentionne pas le lieu de l'expérience, ni les convives en présence, ni la date.

A celui qui cherche à vérifier ces informations, il finit par se dessiner une impression étrange de doute, surtout au vu de l'abondance de sources secondaires toutes plus romanesques les unes que les autres, et qui voient apparaître des détails curieux, comme le fait, toujours repris, que cette expérience se serait passé au jardin du Luxembourg, qui plus est 1690, et lit-on ailleurs, sur l'invitation de madame de Chouin. En effet Louis Figuier dans un ouvrage intitulé fort à propos *Les Merveilles de la Science*, fait jouer à la favorite du Grand Dauphin, Mademoiselle Chouin, le rôle d'intermédiaire entre les princes et le "pauvre inventeur"¹⁴⁰, et fait se dérouler la scène au jardin du Luxembourg.

D'où Figuier et al. tirent ils tout cela ? Sont-ils allés chercher ailleurs que les informations complémentaires ? Et finalement, a-t-il bien existé ce télégraphe dont on ne cite jamais d'autre source que les éloges du secrétaire perpétuel ?

¹⁴⁰ FIGUIER, LOUIS, *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes*, 6 vols., vol. 2, Paris, Furne/Jouvet, 1867-1891: 12

Une source, en effet, la seule que nous ayons retrouvée jusqu'ici, confirme la réalité de l'expérience, mais contredit tous les commentateurs. L'auteur est cependant digne de foi, puisqu'il s'agit d'un témoin dont la parole peut difficilement être remise en doute. Cet auteur, c'est Fénelon. Nous reproduisons ci dessous la lettre qu'il écrit fin 1695-1696, à un familier du Roi de Pologne :

Pour le secret de faire entendre une voix fort éloignée, j'ai demandé la vérité du fait à Monseigneur ; il m'a dit qu'il était à Meudon, et qu'il envoya un billet cacheté au Moulin de Belleville, au delà de Paris. La réponse lui fut donnée par des signaux, qu'on mettait à une aile de moulin et qu'on découvrait de Meudon par des lunettes d'approche. Ces signaux étaient des lettres de l'alphabet, qui passaient successivement à mesure que le moulin tournait avec lenteur. A mesure qu'une lettre passait, ceux qui étaient auprès de l'observateur de Meudon la marquait sur des tablettes. L'inventeur faisait remarquer qu'en multipliant de distance en distance les signaux et les lunettes, on pourrait en peu de temps, et à peu de frais, faire savoir une nouvelle de Paris à Rome; mais je crois que vous conviendrez que cette invention est plus curieuse qu'utile. Si le Roi de Pologne en veut savoir davantage, il sera facile de faire une explication exacte de cette invention avec toutes les circonstances.¹⁴¹

Le familier du roi de Pologne pourrait être le ministre Jean Sobieski, sans certitude. Bien que la lettre ne soit pas datée, les éditeurs la mentionne fin 1695, ou 1696, car pour qu'on ait eu le temps de connaître à Varsovie une version de l'expérience, il fallait que quelques mois se fussent écoulés depuis l'installation du dauphin à Meudon. Or Louis XIV ne négocia avec les Louvois l'échange du château qu'en juin 1695 et la famille royale ne semble y être venue qu'à la fin d'août. Le 26 octobre 1695, Mansart fut encore chargé d'y apporter quelques aménagements. Fénelon ne peut donc pas s'occuper de cette affaire avant le séjour qu'il fit à Versailles en novembre 1695, mais il est aussi possible qu'il faille dater cette lettre de 1696, Jean Sobieski n'étant mort que le 17 juin 1696.¹⁴² L'expérience a donc lieu en toute probabilité après août 1695 ou au début de 1696. A cette époque Amontons a déjà publié son unique ouvrage.

Fontenelle la qualifie naïvement de très ingénieux jeu d'esprit, et Fénelon d'invention plus curieuse qu'utile. A tous deux semble leur échapper toutes les potentialités militaires d'un tel dispositif.

5.D.a.i.1.2 La machine à polir les verres

On trouve dans le minutier central des Archives Nationales une convention passée entre Mathieu Radix habitant Paris, rue Quincampoix paroisse St Nicolas des Champs et Guillaume Amontons, demeurant rue Saint Honoré, passée le 8 mars 1702 devant le notaire Claude Vatel, étude LXIX. Elle stipule que Guillaume Amontons a exécuté pour la compagnie Plastrier une machine à polir les glaces.

¹⁴¹ SALIGNAC DE LA MOTHE FENELON, FRANÇOIS DE, ORCIBAL, J. (éd.), *Correspondance de Fénelon*, 18 vols., Paris, Klincksieck, 1972-2007: 4, 53, n°345

¹⁴² Nous tirons ces informations de : *Ibid.*: 5,70, n°345

Elle fonctionna dans un immeuble de la rue Phélippeau, à Paris, paroisse St Nicolas des Champs et appartenant aux sieurs Formes et Jouan, mais fut abandonnée en 1702. Amontons ne veut plus être inquiété à propos des loyers aussi cède-t-il au sieur Radix sa part dans la machine servant à polir les glaces de la manufacture ainsi que tous les droits qu'il peut avoir dans la manufacture vis à vis du sieur Paris de Bellerbat lequel est aussi intéressé dans la machine. La vente est faite pour le 1/6 du prix de la machine, quitte des loyers de l'emplacement où est la machine, échus depuis la cessation du travail ou à échoir et de tous frais.¹⁴³

Claude Pris, dans sa grande thèse de 1973 consacrée à la manufacture des glaces de Saint-Gobain, nous renseigne sur le premier âge des machines à polir :

L'idée de faire exécuter par une machine ce travail pénible est ancienne et des essais eurent lieu certainement dans toute l'Europe dès le XVII^e s : l'office des brevets de Hollande, bon baromètre du progrès technique au XVII^e siècle, enregistra un en 1667.

La même année, 1667, un chevalier de Villons avait proposé par l'intermédiaire de l'intendant Chamillart à de Nehou une machine à polir les glaces à Tourlaville. Un privilège pour l'exploitation d'une machine à polir les glaces fut accordée en 1670 à Francine, sans doute le même qui participa à la création de la Compagnie Thévert vingt ans plus tard.¹⁴⁴

Il fallu attendre 50 ans après Amontons pour voir réapparaître une machine à polir les glaces, mais on apprend qu'à la même époque que lui en Angleterre, des brevets furent pris en 1678 par J. Roberts et en 1696 par... Thomas Savery¹⁴⁵, l'inventeur bien connu de la pompe à vapeur dite *The Miners Friend*, destinée à tirer l'eau des exploitations minières dont il déposa le brevet en 1698. Une coïncidence ?

Quoiqu'il en soit, il apparaît clairement que le moulin à feu d'Amontons est issu d'une problématique pratique, et se veut une réponse à celle-ci. Un strict parallèle est fait entre le moulin et les hommes, en tant qu'ils sont capables des mêmes effets ; mieux : du même travail. L'hypothèse que nous formons est que cette machine, dans l'esprit d'Amontons, est

¹⁴³ Paris, Archives Nationales, ET/LXIX : Minutier Central, Minutes du notaire Claude Vatel, spéc. 8 mars 1702. Convention Entre Mathieu Radix Et Guillaume Amontons

Concernant Mathieu Radix, on peut trouver dans les archives de Saint-Gobain, les renseignements suivants (aimablement communiqués par Sabine Gillespie-Lecuyer) : Cote A2/2 : Offre de Radix à Geoffrin de mettre 27500 livres dans le nouveau fonds afin d'avoir voix délibérative, 30 septembre 1702 ; Cotes A1/1, A1/2 et A2/2 : lettres patentes et arrêts du conseil relatifs à la Compagnie Plâtrier où apparaît le nom de Mathieu Radix ; Cote J3 et J6 : procès entre la Manufacture des Glaces et Jourdan et Radix (1698-1727). Par ailleurs, on trouve dans FREMY, Histoire de la Manufacture Royale des Glaces de France au XVII^e et au XVIII^e siècle. : 193 une mention d'un traité passé le 16 mars 1696 (et complété par 3 conventions) consistant en l'affermage de la vente des glaces en faveur de 3 personnes Radix, Jourdan et Dubut (ils prenaient à la compagnie toutes les glaces et se chargeaient de les placer chez les marchands) ; il y aura ensuite un contentieux entre Radix et Jourdan.

¹⁴⁴ PRIS, La manufacture royale des glaces de Saint-Gobain, 1665 -1830, Une grande entreprise sous l'ancien régime: 521-522

¹⁴⁵ Ibid.: 522

d'abord née d'une volonté de fournir une énergie économique au polissage des glaces, et que chemin faisant, il est parvenu à créer l'idée d'un moteur susceptible de s'adapter à toute sorte de travaux.

5.D.a.i.2 Devant l'Académie

La même année où s'imprime son premier et dernier ouvrage, Amontons comment à présenter à l'Académie un autre type d'inventions, qui n'ont plus trait aux liqueurs et aux instruments scientifiques. Il commence par un nouveau ponton pour les armées et qui révèle ses habits d'ingénieur. Le mémoire est inséré dans les PV¹⁴⁶, mais il nous manque malheureusement la figure. Déployé, le pont est long de dix huit pieds et large de neuf (soit environ 6 mètres sur 3), en bois de sapin, et pèse environ 4200 livres. Il s'agit d'un matériel militaire, dont la fonction est de pouvoir être jeté à loisir quand il faut traverser de petites rivières ou ruisseaux. Les ponts utilisés alors, d'après Amontons, sont en cuivre et incommodes. Celui qu'il propose a un quadruple avantage :

1. Il est deux fois plus solide que celui de cuivre (20 000 livres ne peuvent le faire enfoncer)
2. Il a moitié plus de largeur
3. Il est jeté en moins de temps
4. Et la dépenses est moindre (1000 livres)

Amontons n'est pas du genre à laisser divaguer son esprit : il s'agit certainement d'une commande. Pour l'heure cependant, on ignore sa destination, mais, comme nous l'avons indiqué *supra*, il est possible qu'elle ait rapport avec la famille Delacroix/Chomel.

Il est également impliqué en architecture, puisque l'on trouve dans les archives de l'institut un mémoire de sa main traitant d'une règle pour la diminution des colonnes¹⁴⁷ dont la mention ne figure pas dans les PV. Le manuscrit n'est pas daté. Le dernier paragraphe de l'explication fournie avec la figure ne laisse cependant aucun doute sur le fait qu'Amontons n'est pas encore académicien, en même temps qu'il annonce une autre invention :

Si l'appréhension de passer pour ridicule et chimérique ne m'imposait le silence, je produirois encore icy un dessin, entre plusieurs [...] de la construction d'une vis d'Archimède d'une grosseur et grandeur extraordinaire pour élever l'eau tout d'un coup à une hauteur de 5 à 600 pieds, mais je n'aurais jamais cette hardiesse, si des personnes comme vous, Messieurs, pour qui j'aurai toujours toute la déférence et tout le respect possible ne me l'ordonne.

Les messieurs en question sont bien sûr ceux de l'Académie des sciences.

¹⁴⁶ PVARS: 14, 1693-96, 9r^{oo}

¹⁴⁷BI, Ms 1605, fol. 44 : règle pour diminuer les colonnes, de Guillaume Amontons

Enfin il invente, certainement peu avant le renouvellement de l'Académie, une pompe à élever de l'eau¹⁴⁸, à tambour elliptique, qui ressemble beaucoup à la pompe dont Watt déposera le brevet en 1782¹⁴⁹

Figure 81 : Construction d'une règle pour par la diminution des colonnes, d'Amontons (non daté). Bibliothèque de l'Institut, ms 1605, f° 44.

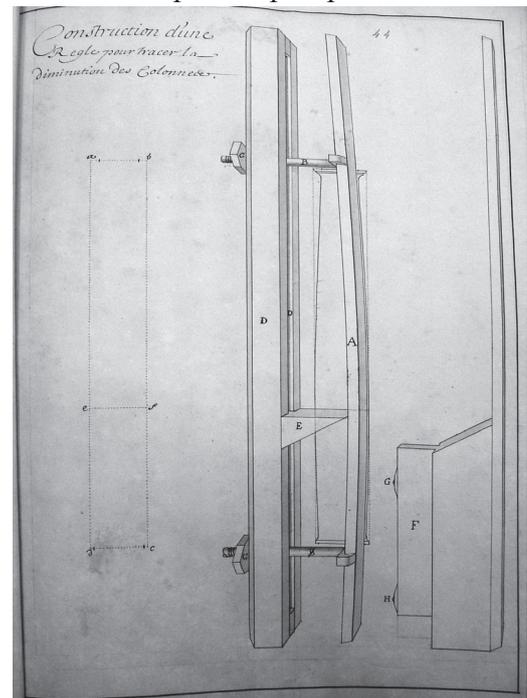
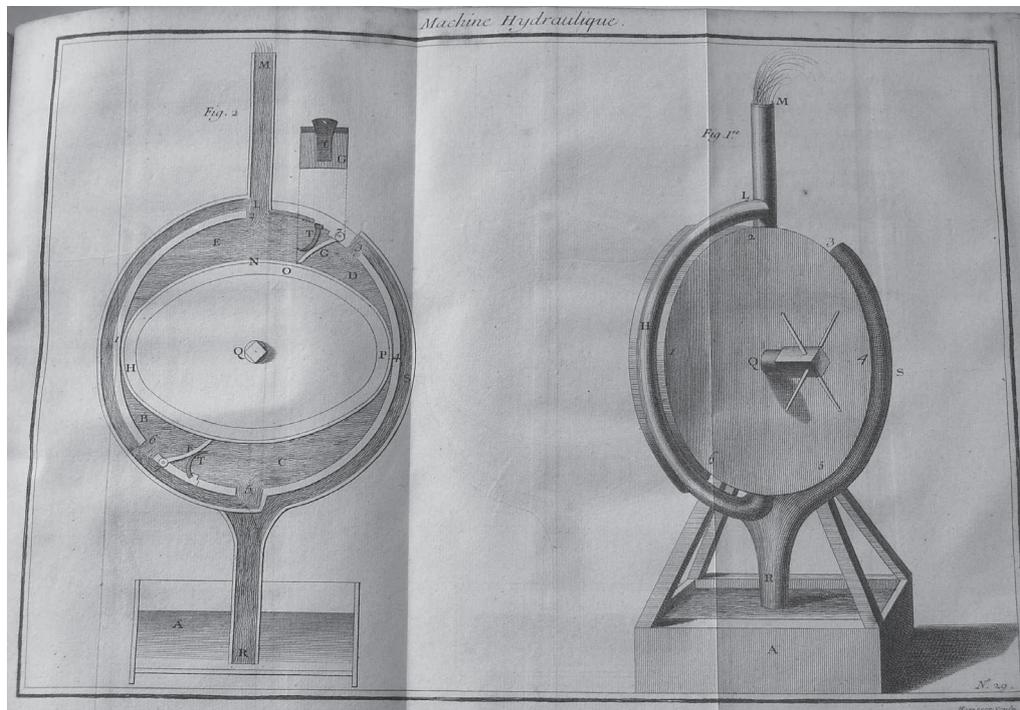


Figure 82 : Pompe à élever l'eau d'Amontons



¹⁴⁸ Mach. 1, 103 sq.

¹⁴⁹ EWBANK, THOMAS, *Descriptive and historical account of hydraulics and other machines or raising water, ancient and moderns, with observations on various subjects connected with the mechanic arts, including the progressive development of the steam engine*, New York, D. Appleton & Company, 1866: 287

Il y a lieu de penser que seule une partie des inventions et instruments qu'Amontons a présenté ou proposé à l'Académie avant son entrée nous sont parvenus. Amontons ne mettra cependant pas fin à ses activités d'inventeur après 1699, puisqu'on trouve encore dans les PV pour l'année 1701 des stores roulants :

Mr Amontons dans le dessein de decire au Roy le Privilege d'une petite machine qu'il a trouvé pour rouler les Paillassons ou Stores qu'on met devant les fentres a lu la description et comme la machine a déjà été exécutée avec succès en plusieurs endroits il n'a pas été nécessaire de nommer des commissaires pour l'examiner.¹⁵⁰

01.d.iii L'ACADEMICIEN (1699-1705)

5.D.a.i.3 Son entrée comme élève de Jean Le Fèvre

Comment Amontons entre-t-il à l'Académie ? Ce sujet reste encore à élucider mais on peut faire un certain nombre d'hypothèses. Fréquentant l'Académie depuis 1687, d'abord par l'entremise d'Hubin, Amontons a pu ainsi commencer à se tisser un réseau de relations et il est raisonnable de penser qu'il ait entretenu une amitié avec Bignon, celui qui reformera l'Académie en 1699. En tout cas, ce dernier assistera à son mariage en 1702, tout comme Fontenelle d'ailleurs. En outre, il est probable qu'Amontons pense à entrer à l'Académie depuis le début des années 90. Son ouvrage composé en 94 et publié en 95, outre ses aspects scientifiques, vaut acte de candidature et dénote selon nous une volonté d'ascension sociale.

Amontons est désigné élève astronome de Jean Le Fèvre le 28 février 1699, et est agréé le 4 mars. Amontons, on l'a vu, avait des intérêts pour l'astronomie, comme l'indique l'avertissement de son ouvrage de 1695, et Fontenelle dans son éloge indique qu'après avoir été employé à divers ouvrages publics, "*il ne fut pas longtemps sans s'élever plus haut*", et s'intéressa à la mécanique céleste. Sa formation en ce domaine semble donc être autodidacte et postérieur à ses années de jeunesse. Cependant, Amontons ne produira jamais rien à l'Académie qui releva de l'astronomie, et il y a tout lieu de penser que l'intitulé du poste n'ait été qu'un prétexte.

Qui est donc son maître, Jean Le Fèvre ? Il a plusieurs points communs avec son élève, d'après la seule étude biographique qui ait été réalisée à ce jour par Amédée Tissot en 1872, reprenant énormément des éléments fournis par Lalande¹⁵¹, lui même inspiré par les

¹⁵⁰ PVARS: 1701, 162 v°

¹⁵¹ LALANDE, JEROME DE, *Bibliographie astronomique, avec l'histoire de l'astronomie depuis 1781 jusqu'à 1802*, Paris, Imprimerie de la République, 1803: 312-314

papiers de Delisle conservés aujourd'hui à l'Observatoire de Paris¹⁵² : c'est un normand, né à Lisieux vers 1650, et autodidacte. A l'origine, il est simple artisan, tisserand jusqu'à l'âge de 30 ou 32 ans. Dans une emphase romantique toute dix-neuviémiste, Tissot note :

Entraîné par une vocation irrésistible, le laborieux toilier employait à la lecture de livres de mathématique et d'astronomie les rares loisirs que lui laissait l'exercice de sa profession, et il parvint néanmoins à acquérir ainsi assez de savoir, assez de réputation pour attirer sur lui l'attention des savants.¹⁵³

Il aurait bénéficié des secours du Père Pierre, lexovien¹⁵⁴ comme lui et astronome à ses heures, qui deviendra professeur de rhétorique au collège de Lisieux à Paris. Pierre était lié avec Picard et La Hire, et c'est par son intermédiaire que Jean Le Fèvre obtint la direction de la publication annuelle de la *Connaissance des Temps*,¹⁵⁵ débutée en 1679, quand Picard s'en lassa. Picard tomba gravement malade, et mourut le 12 octobre 1682, ce qui aurait pu contrarier ces projets si La Hire n'avait pas réitéré cette offre à Le Fèvre, qui quitte alors Lisieux pour Paris. Les deux hommes se connaissent en effet, puisque c'est sur les sollicitations pressantes du célèbre savant, que Le Fèvre l'accompagne en Provence à la fin 1682; en 1683, il s'associa à ses opérations pour l'établissement de la méridienne; puis il l'aida dans les nivellements que l'on exécuta en 1684 et 1685, lorsqu'il fut question d'amener les eaux de l'Eure à Versailles. Enfin Lefebvre observa avec La Hire l'éclipse de Lune du 10 décembre 1685¹⁵⁶. L'ambiance devint délétère lorsque Le Fèvre accusa La Hire de plagiat à l'occasion de la publication par ce dernier de la première partie de ses tables astronomiques *Tabulae astronomicae, Ludovici Magni jussu et munificentia exaratae*. Une querelle vite calmée. Mais en 1700, Gabriel Philippe de La Hire, fils aîné de Philippe, astronome et architecte comme son père, élève dès 1694 et reçut titulaire astronome en 1699, publie un volume d'éphémérides¹⁵⁷, calculé sur les tables de son père, ce qui fait renaître la colère de Le Fèvre qui porte alors l'affaire à la connaissance du public, par une cinglante préface à la *Connaissance des Temps* pour 1701. Il y traite le fils La Hire de "petit novice [...] auteur supposé d'une année d'éphémérides [...] rempli d'un esprit de vanité, de présomption et de mensonge" dont les tables "sont très-défectueuses, et [...] entièrement indignes des titres

¹⁵² Paris, Bibliothèque de l'Observatoire, A 1-9 [Astronomes, 1670-1699, Notices préparées par J.-N. Delisle], n°39. Delisle, Joseph-Nicolas, "Jean Le Fevre" (s.d.). Anciennement : Delisle n°10, au lieu de A 1-9. Merci à Guy Picolet et Annie Chassagne pour cette information et nous avoir transmis une copie du manuscrit.

¹⁵³ TISSOT, *Étude biographique sur Jean Le Fèvre...* chap. V

¹⁵⁴ Lexovien : gentilé de Lisieux

¹⁵⁵ Sur la connaissance des temps, cf. BOISTEL, GUY, *L'astronomie nautique au XVIIIe siècle en France: tables de la lune et longitudes en mer*, Lille, Atelier national de reproduction des thèses, 2003

¹⁵⁶ Toutes es information figurent déjà che Delisle, et sont reprises par Tissot et Lalande.

¹⁵⁷ LA HIRE, GABRIEL PHILIPPE DE, *Regiae scientiarum Academiae ephemerides, juxta recentissimas observationes ad meridianum parisiensem...* authore Gab. Philip. de La Hire,... ad annum... 1701 [-1703] Paris, J. Bourdot, 1700-1702

*spécieux que leur auteur leur fait porter*¹⁵⁸. Les La Hire, protégés par Pontchartrain, obtiendront l'exclusion définitive de Le Fèvre en 1702 après quelques hésitations. Il continuera cependant à apparaître à l'Académie comme "ingénieur pour les instruments de mathématiques", en présentant par exemple un micromètre¹⁵⁹ en 1705, le 1^{er} juillet¹⁶⁰. Il présente également au journal des savants de 1702 un planisphère de son invention.

5.D.a.i.4 Un homme assidu

L'examen des quelques 6000 pages de procès verbaux courant sur les 7 années de présence d'Amontons à l'Académie (1699-1705), s'il peut être facilité par la table des PV et l'inventaire très partiel des occurrences des noms dans les premiers volumes des PV, ne saurait cependant se contenter de ces deux sources : la seconde est en effet plus qu'incomplète, et la première lacunaire. Or les informations sur Amontons étant déjà très peu nombreuses, il était nécessaire de n'en laisser passer aucune. Par ailleurs, ces sources ne pouvaient servir à déterminer la présence ou absence d'Amontons à chaque séance, ce qui a un intérêt historique pour discriminer certains documents et valider certaines hypothèses incluant des conditions de lieux à des dates précises. En l'occurrence les procès verbaux sont une source riche d'informations, puisqu'il nous permette de savoir si l'Académicien était à Paris chaque mercredi et samedi de chaque semaine hormis pendant les vacances de l'Académie¹⁶¹. Nous avons pu ainsi constituer une table des présences d'Amontons sur 7 ans, que nous insérons en Annexe¹⁶². Sur les 503 séances répertoriées, nous possédons des données sur 492, la différence étant donnée par les deux assemblées publiques de chaque année où on ne relève habituellement pas les présences (sauf pour la première le mercredi 29 avril 1699, et il faut noter en outre la lecture de papiers par l'auteur pour celles d'avril 1703, et novembre 1704, l'appel n'étant pas fait pour celles-ci, et sachant qu'Amontons n'assistera pas à la seconde de 1705 puisqu'il meurt avant), plus une séance (le mercredi 25 août 1700, si tant est que la séance ait bien eu lieu le mercredi conformément au règlement) dont la première page est blanche dans les procès verbaux (372 r°). Reste 492 séances avec données concernant Amontons, résultat d'une correction au vu de la lecture des PV, car il semble que pour certaines séances, rares, des oublis aient eu lieu (ce qui se voit par la mention d'un

¹⁵⁸ LALANDE, *Bibliographie astronomique, avec l'histoire de l'astronomie depuis 1781 jusqu'à 1802*: 341-343

¹⁵⁹ *Un micromètre est un instrument d'astronomie de précision servant à mesurer dans le ciel de petites distances ou grandeurs, tels que les diamètres des planètes...*

¹⁶⁰ PV ARS: 1705, 217 r°

¹⁶¹ *C'est à dire de début septembre à mi novembre, deux semaines pour Pâques (avril), une semaine fin mai ou début juin pour la Pentecôte, et deux semaines fin décembre, début janvier, de Noël jusqu'à la fête des rois, suivant en cela l'article XVIII du règlement du 26 janvier 1699 (Ibid.: 18, 1699, 109 r°)*

¹⁶² *Nous remercions Denis Damiron pour son aide en la matière.*

mémoire lu par l'auteur en assemblée, mais ne figurant pourtant pas à l'appel). Des erreurs de notre fait sont également susceptibles de subsister. La table a donc ses limites et ne saurait suffire à énoncer une certitude.

Ceci bien entendu, Amontons est noté présent pour 420 d'entre elles, soit plus de 85% de présence en moyenne, un score très honorable mais vide de sens si on n'examine pas le détail de la table. En l'occurrence, il s'avère que beaucoup de ses absences aient eu lieu depuis la rentrée académique de novembre 1700 jusque fin janvier 1701. Où était Amontons durant cet intervalle ? Probablement à Rouen, pour la succession de son cousin issu de germain, Jacques de La Hayes. Il sera également absent du 7 mai jusqu'au premier juin 1701, et encore de la reprise de la rentrée académique de 1701, jusqu'au 3 décembre inclus. On relève également une absence de la rentrée académique de 1703 jusqu'au 28 novembre inclus.

Amontons a l'avantage de lire deux de ses papiers en assemblée publique :

- une "manière de rectifier avec les nouveaux thermomètres les observations faites avec les anciens"¹⁶³ le 18 avril 1703
- Un écrit sur le baromètre, le mercredi 12 novembre 1704¹⁶⁴

La mort d'Amontons n'a pas connu de signes avant coureur, celle-ci intervenant durant les vacances académiques, le 11 octobre 1705, alors qu'il était encore présent lors de la dernière séance de l'année académique, le samedi 5 septembre 1705.

¹⁶³ *PVARS*: 22, 1703, 102v°

¹⁶⁴ *Ibid.*: 23, 1704, 384v°

Guillaume Amontons à l'Académie Royale des Sciences

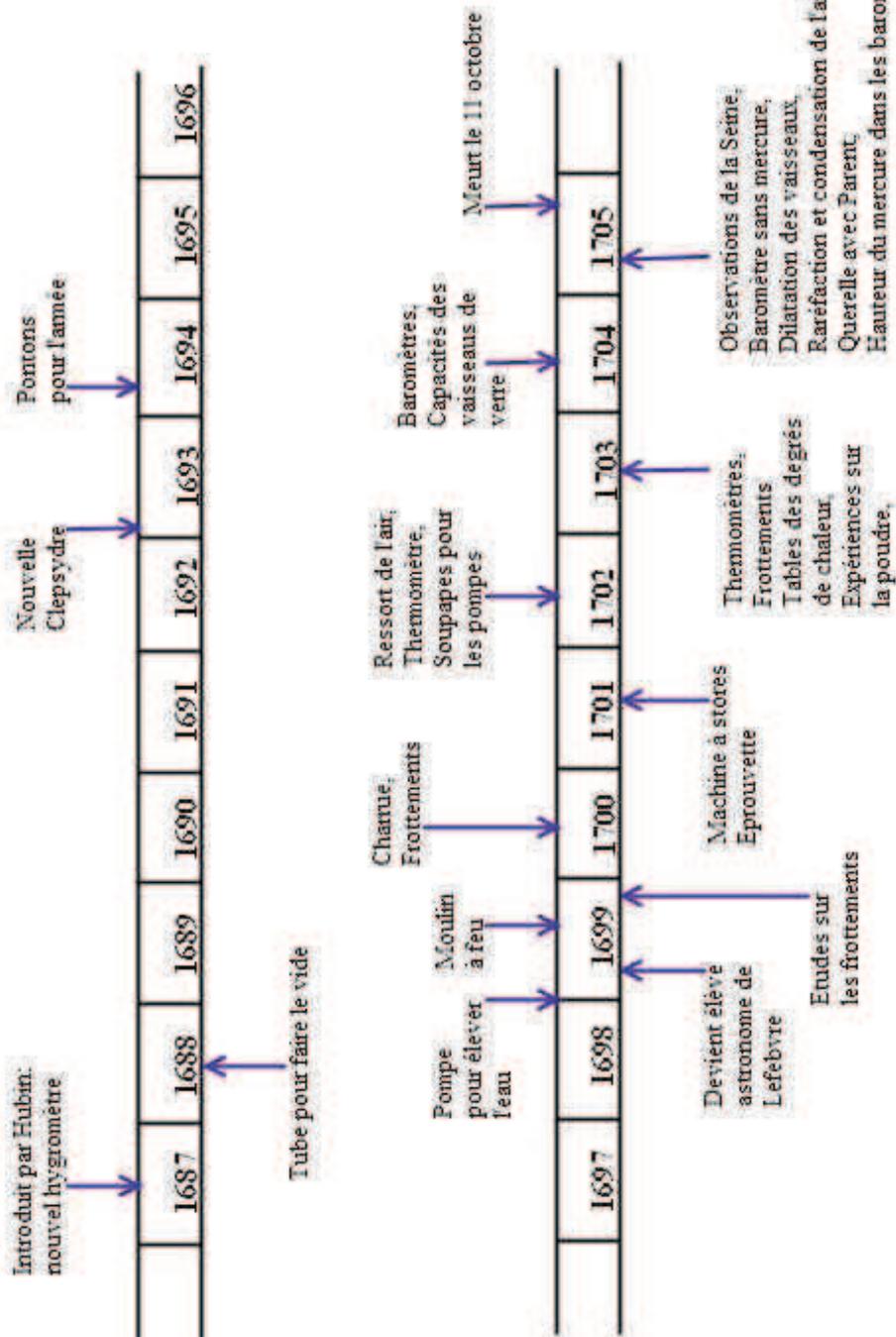


Figure 83 : Résumé des interventions d'Amontons à l'Académie Royale des Sciences

5.D.a.i.5 Oeuvre scientifique

Pour plus de commodité, on retrouvera dans les annexes une table de toutes les interventions répertoriées d'Amontons dans les procès verbaux de l'Académie. On reporté à cette table en ce qui concerne les références exactes de chaque intervention. Nous n'avons pas ici le temps de faire une analyse approfondie des réalisations scientifiques d'Amontons, et nous contenterons d'en faire un sommaire.

En 1699 Amontons, suivant le règlement de l'Académie nouvellement adopté, énonce ses projets de travaux pour l'année qui vient. Se révélant copernicien, il énonce le projet d'une sphère artificielle, dont nous n'avons pas trace :

Persuadé de la vérité du système de Copernic, ou par des suppositions très simples et quelquefois même par des circonstances peu remarquables qui naissent de ces suppositions on explique les Phénomènes les plus difficiles, et qui dans d'autres systèmes font le plus d'embarras, M. Amontons s'engage à finir une sphère artificielle qu'il a déjà commencé, d'une construction toute nouvelle, qui en exposant aux yeux tout ce qui se passe dans le Ciel, et les causes de toutes les apparences qui nous trompent, Epargnera à l'imagination tout le travail dont elle auroit besoin.¹⁶⁵

La même année, les 20 et 23 juin, il propose le mémoire intitulé *Moyen De Substituer Commodément L'action Du Feu À La Force Des Hommes Et Des Chevaux Pour Mouvoir Les Machines*, dont nous avons parlé en profondeur dans le chapitre 2. Nous n'y reviendrons pas. Nous ne revenons pas non plus sur le mémoire de 1703 relatif aux expériences sur le calcul des hommes et des chevaux en situation de travail ou d'efforts ponctuels. Si le premier mémoire eut un certain retentissement, ce n'est pas pour le moulin à feu qu'il y mettait en avant, ni pour sa mesure de la *puissance continue*, mais simplement pour une considération qu'Amontons a fait en passant, presque naïvement, puisqu'il remarque que le frottement ne dépend pas de l'aire de la surface en contact, mais seulement, pense t-il, du poids qui la presse. Amontons était ainsi en train de redécouvrir les lois du frottement que Léonard de Vinci avait mis au jour plus tôt. Cette remarque aura des conséquences importantes sur la vie de l'Académie, qui s'engage alors brusquement dans un programme de recherche sur la mesure des frottements. Amontons participera en donnant un mémoire à ce sujet le 19 décembre de la même année, accompagné de considérations sur la raideur des cordes. Il propose un nouveau mémoire sur le sujet le 27 février 1700 et délaisse le sujet pendant 3 ans, jusqu'à un nouveau mémoire le 18 juillet et le 21 juillet 1703 ayant trait cette fois ci au frottement des cordes autour des cylindres et la manière de faire qu'ils soient le moindre qu'il puisse. Il faut attendre encore deux ans pour qu'Amontons se ressaisisse du sujet, mais il

¹⁶⁵ *Ibid.*: 18, 1699, 137 r° Il s'agit de la séance du 28 février, et Amontons bien que présenté comme élève dès cette date, ne sera agréé que le 4 mars suivant. Amontons n'est pas mentionné dans les présences de cette séance, et doit donc avoir transmis ce projet.

n'apporte pas d'éléments nouveaux et ne fait que répondre à Parent à l'occasion d'une querelle que ce dernier initie.

Entretemps, Amontons s'est plutôt adonné à ses premières amours : l'instrumentation scientifique, et les propriétés de l'air. Il intervient cinq fois en ce sens en juin et juillet 1702, sur le ressort de l'air, et sur un thermomètre de son invention. Il y montre que plus l'air est pressé, et plus un même degré de chaleur augmente la force de son ressort. Sauveur en fera quelques remarques le 8 juillet. Il donne en outre en 1703 un mémoire sur une manière simple de faire en sorte que tous les thermomètres en possession d'une même personne, puissent indiquer les mêmes degrés de chaleur ou de froid. Suite à ses recherches sur le ressort de l'air, il va même jusqu'à proposer une théorie audacieuse des tremblements de terre, qui pourraient être provoqués selon lui par de l'air échauffé et pressé par (ce qu'il n'appelle pas) la croûte terrestre : il imagine en effet que l'intérieur des orbites terrestres est faite d'air condensé, une idée assez opposée, remarque-t-il, à l'hypothèse du feu central de Descartes, mais qu'il juge plus vraisemblable.

On trouve en 1703 un exemple de collaboration avec Geoffroy, puisque ce dernier porte à la connaissance d'Amontons le 24 juillet une table des degrés de chaleur issue des *Philosophical Transactions*, qu'il se propose d'examiner à l'aide du thermomètre d'Amontons. Cette table regroupe en fait un nombre considérable d'expériences, sur la hauteur du mercure atteinte dans les thermomètres de l'auteur anglais, au cours de la plus grande chaleur de l'été ou du plus grand froid de l'hiver, ou par la chaleur de la main, ou encore par la chaleur de l'eau faisant fondre un morceau de cire blanche, ou de beurre, ou encore par le "degré de chaleur" qui met l'étain en fusion ou du fer rouge à partir duquel cessent de bouillonner les gouttes d'eau qu'on jette dessus, et bien d'autres encore. Amontons refait presque toutes les expériences en deux semaines, ce qui représente un travail assez important, et répond les 4, 8 et 11 août suivants devant l'Académie. Il dit fort à propos que les comparaisons des températures ne sont pas pertinentes du fait de la différence des climats entre Londres et Paris. Concernant la température corporelle, il fournit une table des hauteurs auxquelles montent le mercure par la chaleur de la main, en ayant soin de prendre le pouls de chacune des 8 personnes qu'il examine (de 56 à 80 pulsations par minute). Il remarque d'ailleurs que le pouls n'a aucune influence sur la température. Il compare ensuite ce qui est comparable.

L'année suivante, 1704, c'est au tour du "baromètre rectifié" d'être traité, le 18 juin. Il relira ce mémoire en assemblée publique, le 12 novembre. Il montre par ailleurs le 25 juin un point essentiel pour les instruments : la dilatation du verre avec la chaleur, qu'on ignorait

jusqu'ici, sujet qu'il traite de nouveau en 1705, le 18 mars. Ceci donne l'occasion à Geoffroy de faire quelques objections à ce propos le 21 mars, et les deux hommes décident de faire ensemble des expériences en prenant quelques académiciens pour témoin. Geoffroy en effet, à l'image de Vossius¹⁶⁶, pense la liqueur échauffée des thermomètres se condensent dans un premier temps, d'où le fait qu'elle baisse tout d'abord, avant de remonter ensuite. Geoffroy a en effet observé en 1700¹⁶⁷ que "quatre ou cinq pellées de braise bien allumée" jetées dans une "cucurbite" (bassin) de verre pleine d'eau, faisaient d'abord descendre la liqueur d'un thermomètre plongé dans la cucurbite, avant qu'elle remonte. Geoffroy pense alors que l'eau se condense sous l'effet de la compression exercée par la chaleur des braises, qui apporte plus de mouvement. Dès lors, le verre serait lui-même comprimé par les particules d'eau densifiées et conséquemment, la liqueur serait également comprimé, et se condenserait à son tour, ce qui aurait pour effet visible de diminuer sa hauteur dans la colonne de verre. Cet effet serait transitoire et ce "froid" passerait rapidement, puisque toute l'eau du bassin venant à s'échauffer fortement, échauffe aussi promptement le vaisseau de verre. Dans ces conditions les savants ont pu se demander ce que mesurait exactement le thermomètre, et si l'eau se refroidissait vraiment. On voit ici un exemple assez saisissant où la technique influe directement sur la formation des concepts et leur compréhension, en l'occurrence celui de température. Face à cela, Amontons, reprenant Borelli¹⁶⁸, a une idée beaucoup simple : la chaleur dilate les tubes de verre, c'est pourquoi la liqueur baisse dans un premier temps. Amontons reprend les deux opinions et montre par ses expériences, et beaucoup mieux que Borelli, que seule la dilatation du verre peut raisonnablement expliquer les choses. Les expériences en question seront faites au domicile de Geoffroy, en présence du père Gouye¹⁶⁹ et de Philippe de La Hire, selon le compte-rendu qui en est rapporté le 28 mars 1705. Les expériences d'Amontons proposées le 18 mars réussissent, tandis que celles de Geoffroy échouent à prouver son point de vue.

Geoffroy donnera encore à Amontons l'occasion d'expériences, puisqu'il en produit le 4 avril 1705 concernant les dissolutions et les fermentations froides de Geoffroy, répétées dans les caves de l'observatoire. On les qualifierait aujourd'hui d'endothermiques. Les deux scientifiques font les expériences ensemble, l'idée d'Amontons étant de mesurer par son thermomètre à air, la température atteinte par ces réactions particulières.

¹⁶⁶ *ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: 1705, M, 77*

¹⁶⁷ *Ibid.: 1700, M, 119-120*

¹⁶⁸ *Ibid.: 1705, M, 77*

¹⁶⁹ *Thomas Gouye (1650-1725), jésuite, mathématicien et astronome, académicien honoraire, vice-président en 1707, 1709, 1710, 1712, 1713 et 1715, et président en 1711.*

Il propose également un baromètre sans mercure le 11 février 1704, et donne des expériences confirmant la règle usuelle de la proportion du poids à la condensation de l'air les 25 avril, 2, 9, 13 et 20 mai 1705, sur lesquelles la compagnie délibère le 23 mai. Il donne en outre un écrit sur la raréfaction de l'air le 10 juin.

Concernant les baromètres, il redonne les 14, 19 et 22 août et 2 septembre quatre mémoires sur la hauteur du mercure dans les baromètres. Il annonce le 14 août une intervention de toute première importance car il n'est pas vrai, dit-il, que deux baromètres de même conception au même lieu et à la même date, donne des hauteurs de mercure identiques. On conçoit l'importance de la chose. Amontons fustige dans le mémoire les artisans qui n'ont en vu que le profit, et qui grave des graduations arbitraires sur leurs thermomètres. En effet, dit-il fort à propos, “[...] *L'intérêt est souvent un obstacle à la découverte de la vérité*”. Pourquoi doit-il en être ainsi des indications des thermomètres ? C'est d'abord une constatation empirique qu'Amontons fait, de par sa connaissance du sujet. Cherchant les raisons du phénomène, il dit le 14 août qu'il “*est difficile de ne pas l'attribuer à l'inégalité des pores des différents verres qui donnent passages plus ou moins aux petites parties de l'air, suivant qu'ils sont plus ou moins ouverts*”. Il exprime alors sa gratitude à Monseigneur le Chancelier, c'est-à-dire Pontchartrain, pour cette découverte. En effet, Pontchartrain avait un baromètre monté “*à la façon d'Angleterre*” qui un jour ne fonctionna plus. Il eut recours à Homberg¹⁷⁰ pour le remettre en état. Il faut remarquer que Pontchartrain appelle directement un scientifique, et non un artisan. Mais les variations du baromètre du grand personnage demeurèrent alors dans les parties basses, celles indiquant la pluie et le vent. Il envoie alors quérir Amontons, qui emporte le baromètre chez lui. Il constate alors que la hauteur du mercure change suivant le verre utilisé. La compagnie émet un certain nombre d'hypothèses autre que le rôle du verre, et Amontons se charge de faire toutes les expériences dites.

Amontons est donc d'avis que les différences sont liées à la porosité des verres à l'air subtil. En réalité, comme le note Daumas (p. 80) on ne soupçonnait pas encore que le mercure pût être humide et retenir de l'air, ainsi que la surface du verre. Ce n'est que quarante ans plus tard qu'on eut l'idée de faire bouillir le mercure après avoir rempli le liquide.

Les réalisations d'Amontons ne s'arrêtent pas aux propriétés de l'air et du mercure, puisqu'il donne le 11 juin 1701 une nouvelle éprouvette, propose une nouvelle invention pour

¹⁷⁰ On trouve un exposé des divergences entre Amontons et Homberg au sujet de cette histoire in LUC, JEAN-ANDRE DE, *Recherches sur les modifications de l'atmosphère contenant l'histoire critique du baromètre et du thermomètre, un traité sur la construction de ces instrumens, des expériences relatives à leurs usages, et principalement à la mesure des hauteurs & à la correction des réfractions moyennes: avec figures*, Genève, 1772: 1, 36 sq. Cet ouvrage contient d'autres considérations sur les baromètres et thermomètres d'Amontons.

la charrue le 30 janvier 1700 (le rapport manque), un store roulant le 30 avril 1701, et s'intéresse à la poudre le 2 décembre 1702, en proposant une nouvelle manière d'en éprouver la bonté. Il reprend le sujet le 23 août 1703, quand la compagnie parle de la manière de juger des éprouvettes et d'une nouvelle poudre faite par un particulier à propos de laquelle Amontons fait quelques expériences pour en déterminer là aussi la bonté.

Il propose également un écrit sur les soupapes des pompes l'avant veille de Noël 1703. Les 17 et 24 janvier 1705, il donne des observations de la seine pour les années 1703 et 1704. Amontons espère ainsi mieux comprendre la circulation de l'eau, qu'on avait déjà constaté par son élévation en vapeur et sa descente en pluie et dont "*la cessation nous réduiroit aux dernières extremitez de la vie*"(22v°). De la sorte, on ne peut s'empêcher de rapprocher ses observations de celles de La Hire qui chaque année, donne un mémoire sur les quantités de pluie tombées à Paris. On apprend alors que les observations d'Amontons ont en fait été réalisées par un de ses amis "qui par la situation favorable de sa maison a bien voulu à ma prière se charger d'observer la Seine"(23r°). L'ami n'est pas nommé mais les observations ont lieu du 14 septembre 1703 au 30 décembre 1704 contre le massif de la statue équestre d'Henri IV, du côté du Quay de Guénégaud. Or le quai Guénégaud n'est autre que l'ancien nom du quai de Conti, précisément là où habitera en 1727 Charles Marcadé, ami d'Amontons figurant dans son contrat de mariage en 1705 (cf. supra). Ce pourrait donc être lui, l'ami "d'un vray mérite et d'une grande exactitude" (23r°) mais cette seule indication, à presque 25 ans de distance, ne saurait cependant constituer une certitude et des recherches ultérieures sont nécessaires pour confirmer cette présomption.

A sa mort, nous dit Fontenelle dans son éloge, Amontons méditait de nouvelles inventions pour la charrue, l'imprimerie, et les vaisseaux.

Difficile donc de donner en quelques mots un résumé de ces travaux apparemment si épars. Ils ont cependant tous en commun l'ingéniosité d'expérimentateur de l'académicien, et le croisement des différentes recherches. Le cas exemplaire est bien sûr son moulin à feu, qui est un condensé de ses travaux d'ingénieur sur la machine à polir les verres, et de ses recherches théoriques sur la dilatation de l'air. Amontons fait alors preuve de sérendipité en redécouvrant les lois des frottements. En outre on observe constamment des croisements dans ses différents travaux touchant les baromètres, hygromètres, thermomètres et clepsydres. Chaque invention, chaque observation est susceptible de profiter aux autres instruments.

En outre, Amontons n'est pas qu'un empirique. Il est vrai qu'il part d'abord de l'expérience, mais il la mène avec suffisamment d'aisance pour lui permettre de construire

des idées théoriques. On voit assez nettement la progression entre son premier hygromètre de 1687, où Amontons n'est encore qu'un inventeur, et ses dernières expériences sur les baromètres, qui dénote une forte volonté de réduction théorique. La fréquentation de l'Académie de 1687 à 1699 a donc été pour lui dès cette époque une école méthodologique, où il s'est imprégné de la philosophie scientifique de la nouvelle science. Mais Amontons n'est pas homme à opposer la pratique et la théorie, bien au contraire. Sa recherche quotidienne montre à l'évidence un dialogue constant entre ces deux domaines. Cette méthodologie ou philosophie particulière, était sans aucun doute une condition nécessaire pour un homme qui inventa une mesure du travail des hommes et des machines.

5.D.a.i.6 La querelle avec Antoine Parent (1705)

Selon Fontenelle, l'académicien était un homme affable, modeste et arrangeant, peu porté à la dispute. L'examen des procès-verbaux semble confirmé cet état d'esprit, mais on lui connaît tout de même une dispute : celle avec l'irascible Antoine Parent.¹⁷¹ Disons-le, Amontons avait de bonnes raisons d'entrer en dispute. Il le fit cependant sans animosité, semble-t-il, et proposant l'Académie comme arbitre. L'histoire commence avec la publication en 1705 d'un ouvrage de Parent, précédemment publié sous la forme d'un journal¹⁷². Parent y publie en effet, dans le second tome, des critiques sur le mémoire d'Amontons de 1699 sur le frottement et la raideur des cordages dans les machines. Amontons, piqué, y répond le 23 juin 1705 à l'Académie, donnant lieu à une réplique de Parent dès le 27 juin, et le 1^{er} juillet, Amontons procède à des expériences sous les yeux des académiciens pour montrer la vacuité des critiques de Parent. L'académie nomme alors le P. Gouye et Joseph Sauveur pour juger de l'affaire. Le 18 juillet, ils rendent leurs conclusions en faveur d'Amontons :

Le P. Gouye et Mr Sauveur qui avoient été només 1er Juillet pour Examiner les points contestés entre Mr Amontons et Mr Parent en ont fait leur rapport, par lequel il a paru que Mr Amontons avoit raison sur les principaux chefs que Mr Parent avoit critiqués. On a délibéré sur la satisfaction que Mr Parent lui devoit, et on a été d'avis que Mr Parent dans son premier Journal ferait une rétraction telle que l'Académie jugeroit a propos et qui conviendrait a Mr Amontons, et que s'il ne continuoit pas son Journal ou qu'il ne vouloit pas faire cette rétraction, l'Académie feroit imprimer son Jugement dans la 1ere histoire qui paraîtra. Mr le Directeur rapportera cette délibération à Mr l'Abbé Bignon qui l'approuvera ou y changera ce qu'il trouvera à propos.¹⁷³

Une sentence confirmée par Bignon le 24 juillet :

Mr l'Abbé Gallois a rapporté que Mr l'abbé Bignon a dit que Mr Parent mettroit quelque chose de luy dans les mémoires qui s'impriment, et qu'il y prendroit occasion de se retracter.¹⁷⁴

¹⁷¹ Cf. *supra* pour la propension de Parent à la querelle.

¹⁷² Nous n'avons eu accès qu'à la seconde édition de cet ouvrage : PARENT, *Essais et recherches*.

¹⁷³ PVARS: 24, 1705, 243r^o

¹⁷⁴ Ibid.: 24, 1705, 249v^o

Parent s'est-il réellement exécuté ? Les mémoires cités par Gallois, s'il s'agit des Mémoires publiés par l'Académie, ne comportent semble-t-il aucune rétractation.¹⁷⁵ Concernant la seconde édition des Recherches, de 1713, on peut douter que l'auteur ait changé quoique ce soit à son texte, mais il nous faudrait consulter l'édition de 1705 pour le pouvoir dire. En effet, dans un mémoire consacré au ploiement et au frottement des cordages, Parent critique Amontons pour n'avoir pas correctement effectué ses expériences¹⁷⁶ :

[...] l'expérience journaliere [...] fait voir que le fer contre le cuivre résiste bien moins que contre du fer, du plomb, du bois, & porte à croire que M. Amontons auroit trouvé des proportions de frottemens très-differentes s'il n'avoit point tant graissé les plans ou si peut-être il n'avoit point eu égard à un axiome commun entre les machinistes, qu'*en toutes les machines il faut augmenter un tiers pour les frottemens.*¹⁷⁷

Ainsi,

Quoiqu'il paroisse au reste par ces remarques que M. Amontons n'a pas donné autant de tems à la théorie des mécaniques qu'à la pratique on ne sçaurait pourtant pas disconvenir que le public ne lui soit fort obligé pour les soins qu'il se donne à faire des expériences utiles.¹⁷⁸

Un hommage pour le moins ambigu, et qui relègue Amontons à n'être rien de plus qu'un expérimentateur ou un machiniste, avec tout le mépris que Parent semble accorder à ce terme. Parent énonce en outre clairement dans son texte qu'Amontons n'y entend rien même en statique la plus commune, puisqu'il se tromperait dans les calculs des moments des forces. On comprend qu'Amontons ait interprété ces dires comme une grave offense faite à ses compétences et sa réputation. L'Académie donnera raison à ce dernier, comme on l'a vu.

Mais au-delà, il est intéressant de noter la différence de méthodologie entre les deux savants. Parent ne méprise pas à proprement parler la technique. Il la prend en considération, comme l'objet même de son effort théorique, visant à créer une science de la technique. Mais il semble que dans son esprit toute la matérialité entrant en jeu dans le procédé technique ait vocation à être subsumée sous la technologie, la science de la technique.

Face à cette attitude, si Amontons part aussi de l'expérience pour en découvrir la théorie qui par retour permettra la création de procédés techniques plus adéquats, il semble également que pour lui le dialogue doive se perpétuer jusque dans l'acte même de création de l'objet. C'est-à-dire que la matérialité de la technique ne saurait être entièrement contenue

¹⁷⁵ Les mémoires de 1702 et 1703 ne comportent aucune pièce de Parent. Ceux pour l'année 1704 en comportent plusieurs, mais aucune ne cite Amontons. Ceux pour 1705 ne contiennent pas de pièce de Parent.

¹⁷⁶ Ce mémoire fait suite à un autre sur l'équilibre des poids élevés avec des rouleaux, où Parent traite du recueil de machines de Perrault, édité après sa mort par l'Académie, en proférant que Perrault s'est comporté dans ce volume "comme un simple machiniste" et qu'"il n'y a aucune inventions utile, excepté peut être les ancres & le pont" (PARENT, *Essais et recherches*: 2, 467, 475)

¹⁷⁷ *Ibid.*: 2, 724-725

¹⁷⁸ *Ibid.*: 2, 728

dans les concepts technologiques : la théorie n'est jamais totale, et le coup de main de l'expérimentateur est nécessaire pour palier à ses insuffisances.

Pour Amontons, la théorie n'est qu'un guide ; pour Parent elle est une forme équivalente mais désubstantialisée de la réalité elle-même.

01.e. LA SOCIABILITE SAVANTE D'AMONTONS ET LE POUVOIR

Il n'est pas aisé de déterminer les fréquentations savantes d'Amontons. Nous avons vu qu'il fréquente l'Académie depuis 1687, mais avec quels savants, de l'Académie ou pas, entretient-il des relations privilégiées ?

Nous avons déjà partiellement répondu à la question puisque nous avons précédemment noté trois collaborations avec Etienne-François Geoffroy, à propos des dissolutions froides, de la baisse transitoire de la liqueur d'un thermomètre au contact de la chaleur (que Geoffroy attribue à la condensation de la liqueur, et Amontons à la dilatation du verre), et enfin à propos de la table des degrés de chaleur issue des *Philosophical Transactions* que Geoffroy lit en assemblée et vérifiée par Amontons. Dans deux de ces cas, Amontons et Geoffroy effectue ensemble les expériences, une première fois dans les caves de l'observatoire, la seconde au domicile d'Etienne-François Geoffroy entre le 21 et le 28 mars 1705 (cf. supra).

Dans ces conditions, il est raisonnable de penser que les deux hommes se fréquentent en dehors de l'Académie, sachant en outre que le père d'Etienne-François Geoffroy, Matthieu-François Geoffroy¹⁷⁹, maître apothicaire et premier échevin¹⁸⁰ de Paris, était connu pour tenir des réunions où intervenaient quantités de savants :

¹⁷⁹ Sur Matthieu-François Geoffroy, cf. DORVEAUX, "Journal de Matthieu-François Geoffroy, maître apothicaire de Paris (1644-1708)" On peut se reporter également à l'éloge par Fontenelle de son fils Etienne-François (FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy") et, très marginalement, à celui par Grandjean de Fouchy de son autre fils, Claude Joseph in ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: 1752, H, 150 Matthieu François est le quatrième d'une ligne d'apothicaire exerçant dans une boutique de la rue Bourg-Tibourg. Il fut en outre garde de la communauté en 1684, 1685 et 1686, consul en 1694. Il eut 6 enfants avec Louise Devaux, dont Etienne-François et Claude-Joseph, académiciens des sciences, qui eurent chacun un fils également académicien, Etienne-Louis et Claude-François.

¹⁸⁰ Il fut élu échevin en 1685. L'échevin est un officier municipal chargé de la direction des affaires de la communauté. A Paris, il y avait quatre échevins ayant à leur tête le prévôt des marchands. D'ALEMBERT & DIDEROT, Encyclopédie: 5, 256, ECHEVINS "Ils sont élus par scrutin en l'assemblée du corps de ville, & des notables bourgeois qui sont convoqués à cet effet en l'hôtel - de - ville le jour de saint Roch. On élit d'abord quatre scrutateurs, un qu'on appelle scrutateur royal, qui est ordinairement un magistrat; le second est choisi entre les conseillers de ville, le troisième entre les quartiniers, & le quatrième entre les notables bourgeois. [...] La fonction des échevins ne dure que deux ans, & on en élit deux chaque année, en sorte qu'il y en a toujours deux anciens & deux nouveaux[...]"

Les échevins sont les conseillers ordinaires du prévôt des marchands; ils siègent entr'eux suivant le rang de leur election, & ont voix délibérative au bureau de la ville, tant à l'audience qu'au conseil; & en toutes assemblées pour les affaires de la ville, en l'absence du prévôt des marchands, c'est le plus ancien échevin qui préside.

“[...] il se tenoit chez son pere des conférences réglées, où M. Cassini apportoit ses planispheres, le P. Sébastien ses machines, M. Joblot ses pierres d’aiman, où M. du Verney faisoit des dissections, & M. Homberg des opérations de chymie, où se rendoient du moins par curiosité plusieurs autres sçavans fameux, & de jeunes gens qui portoient de beaux noms [...]”¹⁸¹

Etienne-François Geoffroy eut une vie bien remplie, au contact des sphères du pouvoir. Son père était un intime de l’homme d’Etat, chancelier et secrétaire d’Etat à la guerre Michel Le Tellier (1603-1685), et poursuivra ses relations avec sa veuve, jusqu’à la mort de celle-ci¹⁸². Le fils, Etienne-François, fut aussi un ami du fils Le Tellier, c’est à dire l’Abbé Camille Le Tellier de Louvois (1675-1718)¹⁸³ membre honoraire de l’Académie des sciences dès 1699 et frère de François Michel Le Tellier, marquis de Louvois (1641-1691), secrétaire d’Etat à la guerre comme son père, et en charge de l’Académie jusqu’en 1691. Etienne-François, choisi comme médecin par le comte de Tallard nommé en 1698 à l’ambassade extraordinaire d’Angleterre, se rendit à Londres, où il se lia notamment avec Hans Sloane (1660-1753), secrétaire de la Royal Society, et devint membre de cette dernière.¹⁸⁴ En 1699, il est nommé élève chimiste de Guillaume Homberg, puis associé chimiste à la fin de la même année¹⁸⁵.

Du point de vue des intérêts, Amontons partage au moins deux points communs avec Etienne-François Geoffroy, lorsqu’on regarde leurs bibliothèques respectives, à savoir la chimie de Lémery, et la philosophie de Gassendi. On sait que Geoffroy a été plus influencé par Homberg que par un Nicolas Lémery¹⁸⁶. Mais Amontons possède dans sa bibliothèque le *Cours de Chymie* de Lémery, tout comme Etienne-François¹⁸⁷, ainsi qu’au moins une œuvre

Ce sont aussi eux qui passent conjointement avec le prévôt des marchands tous les contrats au nom du roi, pour emprunts à constitution de rente.

Le roi a accordé aux échevins de Paris plusieurs privilèges, dont le principal est celui de la noblesse transmissible à leurs enfans au premier degré. Ils en jouïssent déjà, ainsi que du droit d’avoir des armoiries timbrées, comme tous les autres bourgeois de Paris, suivant la concession qui leur en avoit été faite par Charles V. le 9 Août 1371, & confirmée par ses successeurs jusqu’à Henri III. lequel par ses lettres du premier Janvier 1577 réduisit ce privilège de noblesse aux prévôt des marchands & échevins qui avoient été en charge depuis vingt ans, & à ceux qui le seroient dans la suite.”

¹⁸¹ FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy": 93.

¹⁸² LAFONT & LAFONT, "Personnalisation des rapports individu-puissance publique, ou Geoffroy et la famille Le Tellier"

¹⁸³ "Il se présenta encore à lui l’occasion de faire un voyage agréable, celui d’Italie, où il alla en 1700 avec M. l’Abbé de Louvois, en qualité de son médecin, selon le langage de M. Geoffroy, & en qualité d’ami, selon le langage de cet Abbé, car ils avoient tous deux le mérite de ne pas parler de même." (FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy": 95)

¹⁸⁴ *Ibid.*: 94-95.

¹⁸⁵ INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique*: 263.

¹⁸⁶ Cf. l’article de W.A. Smeaton in *Dictionary of scientific biography Nicolas Lémery contribua au développement d’une chimie mécaniste en popularisant dans son célèbre cours de 1675 une interprétation des relations entre les acides et les alclais fondée sur l’existence de pointes et de pores. Cf. BOUGARD, MICHEL, La chimie de Nicolas Lémery, Turnhout, Brepols, 1999.*

¹⁸⁷ *La bibliothèque d’Etienne-François Geoffroy a fait l’objet d’un catalogue à sa mort en 1731, par Gabriel Martin, afin d’être vendue : GEOFFROY, ETIENNE-FRANÇOIS & MARTIN, GABRIEL, Catalogus librorum viri Cl. D.*

de Gassendi¹⁸⁸. Il faut ajouter cependant que quiconque s'intéressant à la chimie à l'époque se devait d'avoir l'ouvrage classique de Lémery. Si ceci donc ne forme pas une preuve, cela peut tout de même indiquer une convergence des intérêts intellectuels, qui pourrait être expliquée par la fréquentation d'Amontons à ce cercle aussi savant que mondain se réunissant chez Matthieu-François Geoffroy.

Cette hypothèse est d'autant plus séduisante qu'elle a l'avantage d'expliquer comment Amontons connaît Louis Joblot¹⁸⁹, le naturaliste et microscopiste, si connu également pour ses expériences sur les aimants¹⁹⁰, qui participe aussi à ces réunions. En effet Joblot rapporte en 1718 dans ses *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes*, l'anecdote suivante :

Monsieur Amontons, de l'Académie Royale des Sciences, m'apporta un jour une petite bouteille de vinaigre distillé, qui étoit d'une force extraordinaire, & qui contenoit un nombre prodigieux de petites anguilles d'une tres-grande vivacité.¹⁹¹

Amontons avait donc des affinités avec Joblot concernant la microscopie, et ceci fait sens avec la présence d'un microscope parmi les instruments inventoriés après sa mort (cf. *infra*).

Amontons connaît-il personnellement Guillaume Homberg ? Ceci n'est pas impossible, puisque Joblot entretient également des relations avec ce savant, qui fréquente aussi le cercle de Matthieu-François Geoffroy. Joblot écrit en effet :

Monsieur Hombert [sic], de l'Académie Royale des Sciences, a proposé une manière nouvelle de faire u vinaigre avec du bon vin, la plus prompte de toutes : elle consiste à attacher une bouteille, ayant environ les deux tiers de

Stephanis-Francisci Geoffroy, Doctoris Medicini, antiqui facultatis Parisiensis Decani, Regii in Medicini & Chymia Professoris, Regia Scientiarum Academiae Parsiensis rector Societatis Londinensis Socii, Parisiis, Apud Gabrielem Martin, 1731

¹⁸⁸ Cf. *infra* le paragraphe sur la bibliothèque d'Amontons. Descartes influence également les deux hommes, mais ce point est trop commun pour être noté.

¹⁸⁹ Sur la vie de Joblot, voir l'article de P.W. Van der Pas, in *Dictionary of scientific biography* KONARSKI, "Un savant barrisien, précurseur de M.Pasteur, Louis Joblot (1645-1723)"

¹⁹⁰ Sur celles-ci, cf. JOBLOT, "Extrait d'une nouvelle hypothèse sur l'aiman", JOBLOT, "Lettre de Mr. Joblot Professeur en mathématique dans l'Académie Royale de Peinture & Sculpture à Paris, à Mr. de Pujet à Lyon"

¹⁹¹ JOBLOT, *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes tant simples que composez, avec de nouvelles observations faites sur une multitude innombrable d'insectes et d'autres animaux de diverses espèces qui naissent dans les liqueurs préparées et dans celles qui ne le sont point...* 1, 4 Une seconde édition a été publiée : JOBLOT, *Observation d'histoire naturelle, faites avec le microscope sur un grand nombre d'insectes et sur les animalcules qui se trouvent dans les liqueurs... Avec la description et les usages des différents microscopes*

La suite de l'extrait indique (*ibid.*): " Je conservay cette liqueur durant quinze mois ou environ, sans boucher la bouteille ; de sorte que s'étant évaporée, il ne resta plus au fond de cette bouteille qu'un sédiment fort épais, & d'une odeur assez désagréable.

Ces animaux meurent souvent d'une espèce de paralysie qui attaque d'abord une partie de leurs petits corps ; souvent aussi on voit qu'elles en guérissent en peu de tems, particulièrement durant les chaleurs de l'été, pourvu que la tête ne soit pas attaquée de cette maladie. Il est assez rare de voir vivre ces anguilles durant une année entière, soit parce qu'elles manquent de nourriture, soit parce qu'elles ne respirent pas un air assez chaud, où elles se conservent bien mieux qu'elles ne font ailleurs."

sa capacité pleine de vin, à un cliquet de moulin : les fréquentes secousses que la liqueur y reçoit brisent tellement ses principes, & ce qui luy donnoit de la douceur, qu'elle devient en peu d'heures un vinaigre tres-fort, qui se garde long-tems dans le même état.¹⁹²

Cet intérêt commun pour le vinaigre, de Homberg et Amontons -et également de Joblot qui passe de longues pages à décrire comment faire un bon vinaigre, nécessaire pour le développement d'animalcules- est en outre redoublé de l'intérêt commun de ces deux premiers savants et d'Etienne-François Geoffroy à la fois pour les microscopes¹⁹³ et pour les fermentations froides, et chaudes, puisqu'on trouve par exemple un papier de Homberg de 1701 consacré à ce thème dans les HMARS¹⁹⁴. En outre Geoffroy cite une expérience de cet auteur sur la dissolution froide du sel d'ammoniac¹⁹⁵. Par ailleurs Amontons connaît les travaux de Homberg dès au moins 1694, puisqu'il le cite dans son ouvrage publié en 1695¹⁹⁶. En outre le chancelier de Pontchartrain fait successivement appel aux deux savants pour réparer son baromètre, signe manifeste non seulement qu'ils œuvrent tous deux sur les mêmes objets d'étude mais surtout qu'ils sont connus du chancelier.

Bref il semble qu'il y ait entre Amontons, Geoffroy et Homberg, une communauté de pensée, qui s'exprime autant dans les sujets d'études, que dans leurs relations sociales. Tous trois fréquentent les plus importants personnages de l'Etat. Tandis que Geoffroy fréquente toute la belle société de Paris, dont les Louvois, grâce aux réunions savantes et curieuses qui se tiennent au domicile de son père, Amontons est "*connu des plus grands princes à force de mérite*"¹⁹⁷, dit Fontenelle, côtoyant Pontchartrain et ses baromètres, et, durant ses deux expériences sur l'ancêtre du télégraphe, le Grand Dauphin Louis de France (1661-1711) et l'épouse du frère de Louis XIV, Charlotte-Elisabeth de Bavière (1652-1722) aussi appelée la Princesse Palatine. Homberg de son côté connaît également Pontchartrain, et devient un

¹⁹² JOBLOT, *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes tant simples que composez, avec de nouvelles observations faites sur une multitude innombrable d'insectes et d'autres animaux de diverses espèces qui naissent dans les liqueurs préparées et dans celles qui ne le sont point...* 1, 7

¹⁹³ FONTENELLE, "Eloge de M. Homberg": 89 Sur les microscopes on peut consulter avec profit RATCLIFF, MARC, *The Quest for the Invisible: microscopy in the enlightenment*, Farnham (GB)/ Burlington (Vt., USA), Ashgate, 2009 Geoffroy s'y intéresse également: on le voit par exemple lors d'une thèse de bachelier qu'il compose en 1704 sur le thème "*si l'Homme a commencé par être Ver*", c'est-à-dire si les animalcules présents dans le sperme, observés avec le microscope, sont à l'origine des fœtus. Fontenelle note d'ailleurs malicieusement que cela "*piqua tellement la curiosité es Dames, & des Dames du plus haut rang, qu'il fallut la traduire en françois, pour les initier dans des mystères, dont elles n'avoient pas la théorie.*" (FONTENELLE, "Eloge de M. Geoffroy": 96)

¹⁹⁴ "Observation sur quelques effets des fermentations, par M. Homberg" in ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: M, 97-101

¹⁹⁵ GEOFFROY, ETIENNE-FRANÇOIS, "Observations sur les dissolutions & sur les fermentations que l'on peut appeller froides, parce qu'elles sont accompagnées du refroidissement des liqueurs dans lesquelles elles se passent", HMARS, 1700, M, 110-121: 117

¹⁹⁶ Imprimé en 1694. AMONTONS, *Remarques & Expériences Phisiques sur la construction d'une nouvelle Clepsidre, sur les Barometres, Thermometres, & Hygrometres*: 68

¹⁹⁷ FONTENELLE, "Eloge de M. Amontons": 151

intime du futur régent le duc d'Orléans, alors appelé duc de Chartres, en enseignant la chimie à ce dernier à partir de 1702 et en devenant son médecin en 1704¹⁹⁸. On pourrait compléter le tableau en parlant du père Sébastien (Jean Truchet) qui fréquente aussi les réunions de Joblot, et qui participe de temps à autre aux expériences de Homberg et du Duc. Truchet a en outre servi le père de ce dernier pour la construction du canal d'Orléans.¹⁹⁹ C'est un tout petit monde.

On pourrait tirer d'intéressantes conclusions de la fréquentation de Homberg, homme éclairé s'il en est, et fervent défenseur de l'utilité des sciences et des rapprochements entre celle-ci et les arts et métiers. Néanmoins, d'autres documents sont nécessaires pour valider les liens entre Amontons et Homberg, car nous n'avons jusqu'ici que des coïncidences en ce qui les concerne.

¹⁹⁸ FONTENELLE, "Eloge de M. Homberg": 89-91 Sur les relations entre Homberg et le duc d'Orléans, cf DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*: 14-17

¹⁹⁹ DEMEULENAERE-DOUYERE & STURDY, *L'enquête du Régent 1716-1718*: 15

01.f. LA BIBLIOTHEQUE D'AMONTONS

01.f.i LIMITATIONS DE L'EXERCICE

L'inventaire après décès d'Amontons, riches d'informations sur la vie de l'académicien, nous donne la satisfaction de citer les ouvrages de sa bibliothèque personnelle. Une satisfaction aussitôt ternie par les règles en usage dans ce genre d'inventaire, puisque seule une partie des titres sont cités. Sur les 609 volumes cités, seuls 50 titres sont énoncés. Parmi ceux-ci, il faut en outre constater qu'il est impossible pour la plupart d'en déterminer l'édition exacte, sauf en de rares exceptions (quand il n'existe qu'une seule édition, ou lorsque l'édition est citée, notamment pour les ouvrages de prix). Par ailleurs, l'auteur même est rarement cité, ce qui pose problème pour des titres aussi diffusés que "Histoire de la bible" par exemple.

Nous avons cherché alors, en utilisant la transcription qu'a bien voulu faire pour nous Guy Picolet, à déterminer les titres exacts des ouvrages cités. Nous avons utilisé principalement le catalogue de la Bibliothèque Nationale de France pour parvenir à nos fins.

Par ailleurs, nous avons choisi de présenter les titres thématiquement, avec toutes les limites que suppose une catégorisation, dont la plus évidente est l'appartenance d'un même ouvrage à plusieurs catégories. L'ordre original d'énumération des livres, qui peut receler des informations quand à la valeur que l'on accorde à tel ou tel titre, peut être simplement retrouvé en se référant aux annexes, où figure une transcription intégrale de l'inventaire après décès de Guillaume Amontons. Ainsi en est-il également du prix estimé de chaque paquet d'ouvrage.

Il faut en outre bien se garder d'interpréter l'absence de tel ou tel titre comme la preuve de l'absence de ce titre dans la bibliothèque d'Amontons. Encore une fois, absence de preuve n'est pas preuve de l'absence. A titre d'exemple, il est probable que doit se trouver dans cette bibliothèque le *Traité du mouvement des eaux* de Mariotte, le *Traité du mouvement de la mer et des vents* d'Isaac Vossius traduit par le châtelain du Crécy²⁰⁰, et au moins le numéro de février 1693 des *Mémoires de mathématiques et de physique*, qu'Amontons cite

²⁰⁰ Amontons le cite dans son ouvrage de 1695 et dans un papier présenté à l'ARS en 1705 (ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, HMARS: 1705, M, 76 Cf. supra.

dans son ouvrage de 1695 (cf. supra). Peut être aussi l'édition latine du Traité de la percussion de Borelli, puisqu'il en cite un extrait dans un mémoire de 1705.²⁰¹

Toutes ces limitations bien entendues, la bibliothèque d'Amontons reste d'un bel intérêt. Cédons la place à son énumération.

01.f.ii TITRES REPERTORIES ET AUTEURS PROBABLES

Voici la liste, organisée par nous, des titres répertoriés dans l'inventaire après décès de Guillaume Amontons.²⁰²

A. OUVRAGES SCIENTIFIQUES

a. Ouvrages généraux

1. *Recherches de mathématique et de physique*, d'Antoine Parent²⁰³
2. Certains des premiers volumes de l'*Histoire de l'Académie royale des sciences*.

b. Ouvrages d'astronomie

3. *Hevelli machinae coelestis*²⁰⁴
4. *Les tables astronomiques*, du comte de Pagan²⁰⁵
5. Plusieurs volumes de *La Connaissance des temps*²⁰⁶

c. Ouvrages mathématiques

²⁰¹ Ibid. Il cite la proposition 105 du livre de Borelli, dont voici l'une des éditions : BORELLI, GIOVANNI ALFONSO, BROEN, J. (éd.), *De vi percussiois, et motionibus naturalibus a gravitate pendentibus : sive Introductiones & illustrationes physico-mathematicæ apprimè necessariæ ad opus ejus intelligendum De motu animalium. Unà cum ejusdem auctoris responsionibus in animadversiones illustrissimi doctissimique viri d. Stephani de Angelis ad librum De vi percussiois / Giovanni Alfonso Borelli. - Editio prima belgica. Priori italicâ multò correctior & auctior, cui etiam locò figurarum lignearum prioris editionis, substitutæ sunt nitidissimæ æneæ nec non triplices indices locupletissimi.*, Lugduni batavorum, apud Petrum Van der Aa, 1686

²⁰² Cette classification nous est propre et ne reproduit pas celle utilisée par le libraire Gabriel Martin dans ses catalogues de bibliothèque au début du 18^e siècle (5 grandes divisions : Théologie, Jurisprudence, sciences et arts, Humanités, Histoire). Cf. par exemple GEOFFROY & MARTIN, *Catalogus librorum viri Cl. D. Stephanis-Francisci Geoffroy...*

²⁰³ PARENT, ANTOINE, *Recherches de mathématique et de physique...*, 2 vols., Paris, F. Delaulne, 1705 Nous pensons qu'il s'agit de cette édition plutôt que celle de 1703 publiée sous la forme d'un journal en 1 volume, car éclate en 1705 une querelle entre Amonton et Parent à propos de critiques émises par ce dernier sur un mémoire de 1699 du premier, dans le second volume de ses *Recherches*. Bien sûr, Amontons pourrait avoir le journal de 1703, et avoir eu connaissance du volume de 1705 par un autre biais.

²⁰⁴ HEVELIUS, JOHANNES HÖWELCKE DIT, *Johannis Hevelii Machinae coelestis pars prior, organographiam sive instrumentorum astronomicorum omnium, quibus auctor hactenus sidera rimatus ac dimensus est, accuratam delineationem et descriptionem... exhibens...*, Gedani, Imprimebat S. Reiniger, 1673 La première partie éditée en 1673 contient une description de ses instruments. La seconde partie (1679) est aujourd'hui extrêmement rare, presque tous les exemplaires ayant brûlé dans l'incendie de l'observatoire du savant en 1679. Nous ne savons pas si Amontons a détenu les deux parties ou une seule.

²⁰⁵ PAGAN, BLAISE-FRANÇOIS DE, *Les Tables astronomiques du Cte de Pagan, données pour la juste supputation des planètes, des éclipses et des figures célestes. Avec les méthodes de trouver facilement les longitudes...*, Paris, J. Hénault, 1658 Pas d'autre édition.

²⁰⁶ *La Connaissance des temps, ou calendrier et éphémérides du lever & coucher du soleil, de la lune, & des autres planètes...* Paris, J.-B. Coignard, 1679-anXI

6. *L'Algèbre*, de François Viète²⁰⁷
7. “Quadrature du cercle”²⁰⁸, qui peut correspondre à plusieurs ouvrages
- d. Machines
 8. *Les raisons des forces mouvantes*, de Salomon de Caus²⁰⁹
 9. *Le diverse et artificieuse machine*, de Ramelli²¹⁰
 10. *Mémoires d'Artillerie*²¹¹, de Pierre Surirey de Saint-Remy
- e. Mouvement des animaux
 11. *De motu animalium*, de Borelli²¹²
- f. Histoire naturelle
 12. *Métamorphoses naturelles*, de Godart²¹³
- g. Chimie

²⁰⁷ VIETE, FRANÇOIS, *L'Algèbre, Effections géométriques, et partie de l'Exégétique nombreuse de... F. Viète, traduites de latin en françois, où est adjouté des notes et commentaires et quantité de problèmes zététiques, par N. Durret,...* Trad. par DURRET, N., Paris, l'auteur, 1644

²⁰⁸ Au moins 3 ouvrages peuvent correspondre à ce titre, en supposant que ces trois mots soient bien les trois premiers du titre : DU CHESNE, SIMON, *Quadrature du cercle, ou Manière de trouver un quarré égal au cercle donné, et au contraire un cercle égal au quarré, proposé avec la raison de la circonférence au diamètre*, Delf, N. Leclerc, 1614 YVON, PAUL, VAN DER BIST, M. (éd.), *Quadrature du cercle, ou Moyen de trouver un quarré égal au cercle donné et au contraire un cercle égal au quarré proposé. Ensemble, Le double du cube ; inventée et trouvée par Paul Yvon,...* avec les *Éclaircissemens par opérations numériques et la parfaite proportion du diamètre à la circonférence, donnée et adjoustée par Martin Vander Bist,...* La Rochelle, H. Haultin, 1619 SCOTTO, BENEDETTO, *Quadrature du cercle ; ensemble un instrument géométrique et carte maritime méditerranée avec la deffinition, conversion et multiplication de toutes figures géométriques... plus une carte maritime méditerranée en deux feuilles...*, Paris, Vve Barrault, 1620

²⁰⁹ CAUS, *La raison des forces mouvantes* Existe aussi une édition de 1624.

²¹⁰ RAMELLI, AGOSTINO, *Le diverse et artificieuse machine del capitano Agostino Ramelli dal Ponte della Tresia ingegniero del christianissimo re di Francia et di Pollonia. Nellequali si contengono varii et industriosi movimenti, degni digrandissima speculatione, per cavarne beneficio infinito in ogni sorte d'operatione ; composte in lingua italiana et francese*, Parigi, In casa dell'auteur, 1588

²¹¹ SURIREY DE SAINT-REMY, PIERRE, *Mémoires d'artillerie, recueillis par le Sr Surirey de Saint Remy, commissaire provincial de l'Artillerie, & l'un des cent & un officiers privilégiés de ce corps*, 2 vols., Paris, Jean Anisson, 1697 L'auteur résume ainsi son ouvrage, divisé en 4 parties : “I. La première traitera des officiers de l'artillerie en général, de leurs titres & fonctions, immunités & privilèges ; des états qui se font dans l'artillerie ; de l'école. II. Le canon étant la plus noble de toutes les armes offensives et défensives qui servent à l'artillerie, j'ay cru devoir dans ma seconde partie en expliquer les proportions & l'usage ; tout ce que les auteurs appellent bouches à feu, comme mortiers, petards, arquebuses à croc, mousquets, fusils, &c. & ce qui peut servir à l'exécution & au service de toutes ces armes, s'y trouvera aussi compris. J'y ay joint les bombes, les carcasses, les grenades, & les artifices. III. Dans la troisième je parleray des outils qui servent à remuer la terre, des moulins, de la fonte des pièces, de la fabrication du salpêtre & de la poudre, des ponts, des mines, des charrettes & chariots, des chevaux, & du reste des autres ustensiles & attirails dépendans de l'artillerie. IV. Et après avoir suffisamment instruit mon lecteur de tous ces détails qu'il ne doit point ignorer, je luy donne dans la quatrième et dernière partie les moyens de pouvoir devenir un officier parfait, en luy apprenant l'ordre et l'arrangement des magasins, la formation des équipages & des parcs à la suite des armées & pour les sièges, la marche des équipage & leur disposition dans un jour de combat, la manière de défendre les places, le commandement, la subordination & le devoir des officiers ; à tout cela j'ay joint un dictionnaire des mots & des termes qui sont propres à l'artillerie, afin que chacun puisse y avoir recours dans le besoin.” (Préface, n.p.)

²¹² BORELLI, GIOVANNI ALFONSO *De Motu animalium*, Jo. Alphonsi Borelli, ... opus posthumum, 2 vols., Romae, ex typ. A. Bernabò, 1680-81

²¹³ GOEDART, JAN, *Métamorphoses naturelles ou histoire des insectes observée très exactement suivant leur nature et leurs propriétés*, 3 vols., La Haye, Pays-Bas, Adrian Moetiens, 1700

13. *Cours de Chymie*, de Lémery²¹⁴
- h. Lumière et optique
14. *Ars magna lucis et umbrae*, de Kircher²¹⁵
- i. Œuvres antérieures au 17^e siècle
15. *Aristotelis opera*²¹⁶
16. *De la Subtilité*, de Cardan²¹⁷
- j. Périodiques
17. Des numéros du *Journal des Sçavans*
18. Plusieurs numéros du *Journal de Trévoux*
19. Histoire Des Ouvrages Des Sçavans²¹⁸
20. Nouvelles de la République des lettres²¹⁹
- B. OUVRAGES D'ARCHITECTURE ET DE CHARPENTERIE
21. *L'Art de charpenterie*, de Jousse, édité par Philippe de La Hire²²⁰
22. *Cours d'architecture*, de d'Aviler²²¹
23. *L'Architecture françoise*, de Savot²²²
- C. OUVRAGES SPIRITUELS ET RELIGIEUX
24. *Les Oeuvres spirituelles du père Grenade*²²³

²¹⁴ LEMERY, NICOLAS, *Cours de chymie, contenant la manière de faire les opérations qui sont en usage dans la médecine par une méthode facile, avec des raisonnements sur chaque opération...*, Paris, l'auteur, 1675

²¹⁵ KIRCHER, ATHANASIIUS, *Athanasii Kircheri ... Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta Quibus admirandae lucis et umbrae in mundo, atque adeo universa natura, vires effectusque uti nova, ita varia novorum reconditorumque speciminum exhibitione, ad varios mortalium usus, panduntur*, Rome, Sumptibus Hermanni Scheus, 1645

²¹⁶ La plus récente des éditions parisiennes semble être : ARISTOTE, *Aristotelis Opera omnia, graece et latine, doctissimorum virorum interpretatione et notis emendatissima...* Guillelmus Du Vallius,... tertio recognovit... , 4 vols., Paris, apud J. Billaine, 1654

²¹⁷ CARDANO, GEROLAMO, *Les livres de Hiérome Cardanus, ... intitulés de la subtilité et subtiles inventions, ensemble les causes occultes et raisons d'icelles, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc Paris, G. Le Noir, 1556 Ceci semble être la première traduction en Français de l'ouvrage. Plus près d'Amontons, figure une réédition de 1642, la seule du 17^e siècle présente dans le catalogue de la BnF.*

²¹⁸ BASNAGE DE BEAUVAL, HENRI, *Histoire des ouvrages des sçavans, par Monsr. B**** docteur en droit, Rotterdam, Reinier Leers, 1694-1709 A périodicité mensuelle de 1687 à août 1689, puis trimestrielle de sept. 1689 à 1709. Reprend partiellement les Nouvelles de la République des Lettres.*

²¹⁹ *Nouvelles de la république des lettres*, 36 vols., Amsterdam, Henry Desbordes, 1684-1718

²²⁰ JOUSSE, MATHURIN, LA HIRE, G. P. D. (éd.), *L'art de charpenterie de Mathurin Jousse, corrigé et augmenté... de ce qu'il y a de plus curieux dans cet art, et des machines les plus nécessaires à un charpentier [par M. D. L. H. (de La Hire)]...* Paris, T. Moette, 1702

²²¹ AVILER, AUGUSTIN-CHARLES D' & VIGNOLE, *Cours d'architecture qui comprend les ordres de Vignole, avec des commentaires, les figures et descriptions de es plus beaux bâtimens, & de ceux de Michel-Ange, plusieurs nouveaux desseins...l'art de bâtir avec une ample explication par ordre alphabétique de tous les termes*, 2 vols., Paris, Nicolas Langlois, 1691-1693 Le second tome est un dictionnaire d'architecture, par le même.

²²² SAVOT, LOUIS, BLONDEL, F. (éd.), *L'Architecture françoise des bastimens particuliers, composée par Me Louis Savot, augmentée dans cette 2e édition de plusieurs figures et des notes de M. Blondel... 2^o éd.*, Paris :, La Veuve de F. Clouzier, et C. Clouzier, 1685

25. *La confession coupée*, du franciscain Christoph Leutbrewer²²⁴
26. "Vie de Calvin"²²⁵
27. *Le Nouveau Testament*, de Quesnel²²⁶
28. "Retraite spirituelle"²²⁷
29. *Catéchisme du diocèse de Meaux*²²⁸
30. "Histoire de la bible"²²⁹

²²³ De nombreuses éditions existent, par exemple la suivante : GRENADE, LOUIS DE, *Les Oeuvres spirituelles du R. Père Louys de Grenade...., où est contenu tout ce que le chrétien doit faire depuis le commencement de la Conversion, jusques à la Perfection de cette vie : Divisées en quatre parties... Huitième & dernière édition, enrichie des passages de la Sainte Ecriture & des Pères ; & de nouveau corrigée de plusieurs fautes & mots contraires au bon usage. Le tout exactement traduit & conféré sur l'espagnol, par le R. P. Simon Martin, parisien, de l'ordre de S. François de Paule, peu avant son décès., 8 ° éd., Trad. par MARTIN, S., Lyon, Jean Goy & Simon Potin, 1686*

²²⁴ LEUTBREWER, CHRISTOPH *La Confession coupée, ou la Méthode facile pour se préparer aux confessions particulières et générales... de l'invention du R. P. Christophle Leutebreyer,... reveuë et corrigée en cette dernière édition... Paris, D. Thierry et C. Barbin, 1677 Première édition en 1659. L'ouvrage connaîtra au moins 5 rééditions d'ici 1705.*

²²⁵ Il s'agit peut être de l'ouvrage de François Mauduict, rééditant l'histoire écrite par Bolsec : MAUDUICT, FRANÇOIS & BOLSEC, JEROME-HERMES, *La Vie, mort et doctrine de Jean Calvin... écrite par M. Hiérosme-Hermès Bolsec,... ensemble la Vie de Jean Labadie... , Lyon, A. Offray, 1664*

²²⁶ Nombreuses éditions, par exemple : QUESNEL, PASQUIER, *Le Nouveau Testament en françois, avec des reflexions morales sur chaque verset, pour en rendre la lecture & la meditation plus facile à ceux qui commencent à s'y appliquer. Augmenté de plus de la moitié dans les Evangiles en cette dernière édition... qui estoit sous le titre de Morale de l'Evangile & des Epistres de Saint Paul. , Paris, Pralard, André, 1692 La notice de la BnF précise : Version de Port-Royal/Quesnel : révision elzévirienne de 1668, revue par Pasquier Quesnel. Ire éd. complète du N.T. comprenant les "Réflexions morales" de P. Quesnel. Ces dernières avaient été publiées partiellement dès 1672, d'abord sur les Évangiles, sous le titre : "Abrégé de la morale de l'Évangile", puis en 1687, sur la fin du N.T. : "Abrégé de la morale sur les Actes des Apostres, des Epistres de S. Paul, des Epistres canoniques, et de l'Apocalypse". Chaque tome a un titre propre ; t. II divisé en 2 parties, la 2e ayant aussi un titre propre. Marque aux titres*

²²⁷ Au moins 4 ouvrages avant 1705 peuvent correspondre à ce titre : *Retraite spirituelle de dix jours ; sur l'union de l'âme avec Dieu, par Jean-Pierre Camus (1636 et éditions ultérieures) ; Retraite spirituelle, par le père Claude La Colombière (1684 et éditions ultérieures) ; Retraite spirituelle pour un jour chaque mois, par Jean Croiset (1694 et éditions ultérieures) ; et Retraite spirituelle, ou conduite d'une âme qui aspire à la perfection, par le père François Le Large (1705)*

²²⁸ Il s'agit de l'une des éditions de : BOSSUET, JACQUES BENIGNE, *Catechisme du diocèse de Meaux : Par le commandement de Monseigneur l'illustrissime & révérendissime Jacques Benigne Bossuet evesque de Meaux, conseiller du Roy en ses conseils, cy-devant précepteur de Monseigneur le Dauphin, premier aumosnier de Madame la Dauphine, Paris, Sebastien Mabre-Cramoisy, 1687*

²²⁹ Beaucoup d'ouvrages peuvent correspondre à ce titre, dont : *igures des Histoires de la Sainte Bible accompagnées de briefs discours qui comprennent la plus grande partie de l'Histoire Sacrée du Vieil et du Nouveau Testament... , Paris, 1670 ; L'Histoire de la Sainte Bible, avec des explications édifiantes,... Par le sieur de Royaumont , 1683 ; Méthode pour apprendre facilement l'histoire de la Bible, 1694, de l'Abbé Fourcroy ; Les Peintures sacrées sur la Bible, contenant l'histoire sainte du Vieil et du Nouveau Testament, par le R. P. Girard, 1688 ; Abrégé de l'histoire de la Sainte Bible [Texte imprimé], et de ce qui s'est passé de plus remarquable parmi le peuple de Dieu, pour l'instruction de la jeunesse et des fidèles du diocèse du Mans. Par un prêtre du même diocèse, 1693 ; Histoire abrégée de la Bible en questions... par Me César de Rochefort,..., 1685.*

31. *La cour sainte*²³⁰, de Nicolas Caussin

D. OUVRAGES HISTORIQUES

32. Dictionnaire de Moreri, “dernière édition”²³¹

33. *Histoire du calendrier romain* de Blondel²³²

34. “Histoire de l’imprimerie”²³³, vraisemblablement de La Caille

E. OUVRAGES DE DROIT

35. Un ouvrage sur la coutume de Normandie, de Henri Basnage²³⁴

36. *La Science parfaite des notaires*, de Ferrière²³⁵

37. *Coutume de Paris*²³⁶

F. DICTIONNAIRES

38. Le Dictionnaire de Furetière “dernière édition d’Holande”²³⁷

39. Le dictionnaire français latin de Danet²³⁸

G. RHETORIQUE ET MORALE

40. *Les marguerites françoises*²³⁹, manuel de rhétorique et de morale édité en Normandie.

41. “Maximes de pratique”²⁴⁰

42. *Menagiana*²⁴¹

²³⁰ Nombreuses éditions, dont : CAUSSIN, NICOLAS, *La Cour sainte du R. père Nicolas Caussin... mise en un bel ordre, avec une notable augmentation des vies des personnes illustres de la cour, tant du vieil et du nouveau Testament, et augmentée en cette dernière édition de la vie de l’auteur et de diverses histoires*, 2 vols., Paris, D. Bechet, 1653

²³¹ MORERI, LOUIS, *Le Grand dictionnaire historique, ou le Mélange curieux de l’histoire sacrée et profane... Nouvelle et dernière édition revue, corrigée et augmentée par M. Vaultier*, 4 vols., Paris, D. Mariette, 1704

²³² BLONDEL, FRANÇOIS, *Histoire du calendrier romain, qui contient son origine et les divers changemens qui luy sont arrivez*, Paris, L’auteur et N. Langlois, 1682

²³³ LA CAILLE, JEAN DE, *Histoire de l’imprimerie et de la librairie, où l’on voit son origine & son progrès, jusqu’en 1689: divisée en deux livres*, Paris, Jean de la Caille, 1689

²³⁴ BASNAGE DE BEAUVAL, HENRI *La coutume réformée du païs et duché de Normandie, anciens ressorts et enclaves d’iceluy, expliquée par plusieurs arrêts et réglemens et commentée par Me Henry Basnage*, Rouen, Jean Lucas, 1681

²³⁵ FERRIERE, CLAUDE DE, *La Science parfaite des notaires, ou le Moyen de faire un parfait notaire, contenant les ordonnances, arrêts et réglemens rendus touchant la fonction des notaires*, Paris, C. Osmont, 1682 Autres éditions en 1699, 1704.

²³⁶ MASSON, ALEXANDRE & FERRIERE, CLAUDE DE, *Coutume de Paris, mise en un nouvel ordre avec des notes et conférences, pour en faciliter l’intelligence par Alex. Masson*, La même, avec des notes par Claude Ferrière, Paris, Cochart, 1680 Il existe aussi une édition de 1703.

²³⁷ FURETIERE, ANTOINE, *Dictionnaire universel, contenant généralement tous les mots françois tant vieux ue modernes et les termes des sciences et des arts...* rev., corr. et augm. par M. Basnage de Bauval, 2^o éd., 3 vols., La Haye & Rotterdam, Arnoud et Reinier Leers, 1701

²³⁸ DANET, PIERRE, *Nouveau Dictionnaire françois et latin, enrichi des meilleures façons de parler en l’une et l’autre langue. Composé... pour monseigneur le dauphin par M. l’abbé Danet* Paris, Vve C. Thiboust et P. Esclassan, 1683 Pas d’autre édition avant 1707.

²³⁹ Plusieurs éditions dont DES RUES, FRANÇOIS, *Les marguerites françoises, ou Fleurs de bien dire. Contenant plusieurs belles & rares sentences morales. Recueillies des plus excellens & graves auteurs, & mises en ordre alphabetic. Par Fr. Des-Ruës, constançois.*, Rouen, Jacques Auber, 1625

²⁴⁰ Nous n’avons pas pu identifier cet ouvrage

H. ŒUVRES LITTÉRAIRES, ARTISTIQUES ET PHILOSOPHIQUES

a. Philosophie

43. Un ouvrage non identifié intitulé “Philosophia”

44. Le discours de la méthode de Descartes²⁴²

45. Les Méditations, de Descartes²⁴³

46. “Philosophie de Gassendi”²⁴⁴

b. Autres

47. “Recueil d’opera”²⁴⁵

48. “La Bruyere” : désigne peut être *Les Caractères*²⁴⁶

49. “Oeuvres”, de Boileau²⁴⁷

50. “Description de Versailles”²⁴⁸

01.f.iii REMARQUES SUR CET INVENTAIRE

La première remarque concerne l’homme chargé de l’estimation des livres. Il s’agit de Gabriel Martin, “*marchand libraire à Paris, y demeurant St Jean parroisse St Severin où est pour enseigne L’etoille*”. Gabriel Martin (1679-1761) n’a alors que 26 ans et s’imposera vite comme le plus important libraire parisien à pratiquer des ventes publiques dans le premier 18^e siècle, rédacteur de plus de 140 catalogues de 1705 à sa mort. Il a joué un rôle

²⁴¹ L’une des éditions de cet ouvrage à succès : MENAGE, GILLES, GOULLEY (éd.), *Menagiana, ou Bons mots, rencontres agréables, pensées judicieuses et observations curieuses de M. Ménage...* Amsterdam, A. Brackmom, 1693 Il existe aussi une version latine, de la même année.

²⁴² Nombreuses éditions. Par exemple : DESCARTES, RENE, *Discours de la methode pour bien conduire sa raison, & chercher la verité dans les sciences. Plus la Dioptrique. Les Meteores. Et la Geometrie. Qui sont des essais de cete methode*, Leyde, Maire, Joannes, 1637

²⁴³ Là encore de nombreuses éditions, par exemple la suivante, traduite du latin : DESCARTES, RENE, *Les Méditations métaphysiques de René Des-Cartes touchant la première philosophie... traduites du latin de l’auteur par M. le D. D. L. N. S. [duc de Luynes], et les objections faites contre ces méditations par diverses personnes très doctes, avec les réponses de l’auteur, traduites par M. C. L. R. [Clerselier.], Trad. par LUYNES, L.-C. D. A. D. D., Paris, Vve J. Camusat, et P. le Petit, 1647 Ou celle-ci, latine : DESCARTES, RENE, *Meditationes de prima philosophia, in quibus Dei existencia, & animae humanae à corpore distinctio, demonstrantur, his adjunctae sunt variae objectiones virorum in istas de Deo & anima demonstrationes ; cum responsionibus auctoris*, éd. de Amstelodami, ex typographia Blavania,, Amsterdam, Ex typographia Blaviana, 1685*

²⁴⁴ Il s’agit sans doute d’une des éditions de : GASSENDI, PIERRE & BERNIER, FRANÇOIS, *Abrégé de la philosophie de Mr Gassendi*, Paris, Jacques Langlois & Emmanuel Langlois, 1674

²⁴⁵ Peut être : *Recueil d’opéras*, Paris, M. Van Dunwalt, 1688

²⁴⁶ LA BRUYERE, JEAN DE, *Les caractères de Théophraste, traduits du grec, avec Les caractères ou les moeurs de ce siècle*, Paris, E. Michallet, 1688 Nombreuses éditions ultérieures

²⁴⁷ Editions innombrables, dont l’une des premières semblent : BOILEAU, NICOLAS, *Oeuvres diverses du sieur D***: Avec le Traité du sublime ou du merveilleux dans le discours, Traduit du grec de Longin*, Paris, D. Thierry, 1674

²⁴⁸ Correspond peut être à l’une des nombreuses éditions de l’ouvrage à succès de Félibien : FELIBIEN, ANDRE, *Description du château de Versailles, de ses peintures, et d’autres ouvrages faits pour le roi*, Paris, D. Mariette, 1696

prépondérant dans l'élaboration du système dit "des libraires de Paris" qui s'imposera désormais dans la présentation des catalogues.²⁴⁹

La seconde a trait à l'importance de la bibliothèque : 609 volumes sont inventoriés, dont 50 titres cités. C'est une bibliothèque cinq fois plus ample que celle de Jacques Rohault par exemple, mort en 1672.²⁵⁰ Quant à son collègue et sans doute ami Etienne-François Geoffroy, il meurt en 1731 à presque 60 ans, en laissant une impressionnante bibliothèque de plus de 2000 titres (et donc d'autant plus de volumes).²⁵¹

Troisième remarque : qu'est devenue la bibliothèque d'Amontons ? Dans l'état actuel de la recherche, nous ne le savons pas. En toute logique, sa fille unique doit en hériter, mais un acte relatif à une vente de livres à la majorité de celle-ci reste à trouver, s'il existe.

Quatrièmement, et c'est ce qui nous intéresse le plus ici, l'inventaire reflète assez les intérêts connus de l'auteur, en même temps qu'il en dévoile de nouveau. On peut repérer les ouvrages ayant servi durant la période de formation de l'auteur, non seulement par leur édition, mais de par leur sujet. Ainsi, le volume intitulé "Quadrature du cercle" (n° 7 ci-dessus) a été lu en toute probabilité durant la prime jeunesse d'Amontons qui voit aussi le futur académicien s'intéresser au mouvement perpétuel d'après Fontenelle²⁵². Doivent aussi être rangés dans cette catégorie les Oeuvres d'Aristote, *De la Subtilité*, de Cardan, ainsi que l'Algèbre de Viète.

Les ouvrages de Salomon de Caus et de Ramelli s'expliquent aisément par les intérêts qu'entretient notre homme pour les machines, dont le moulin à feu est un exemple. Les *Mémoires d'artillerie* sont quant à eux à mettre en rapport avec les travaux d'Amontons sur la poudre (cf. *supra*).

Les ouvrages d'architecture reflètent ses intérêts pour ce domaine, qu'il partage avec Philippe de La Hire. Ceci confirme les dires de Fontenelle selon lequel Amontons apprit "*le dessein, l'arpentage, l'architecture, & fut employé dans plusieurs ouvrages publics*"²⁵³. En outre, nous avons vu un exemple d'une machine qu'il conçut pour l'architecture, à savoir une règle pour la diminution des colonnes (cf. *supra*).

²⁴⁹ SORDET, YANN, "Le recours au catalogue de vente de Gabriel Martin à Seymour de Ricci", in CHARON, A., PARINET, É. & BOUGE-GRANDON, D. (ed.), *Les ventes de livres et leurs catalogues, XVIIe-XXe siècle: actes des journées d'étude organisées par l'Ecole nationale des chartes, Paris, 15 janvier 1998, et par l'Ecole nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 22 janvier 1998, Paris, Ecole nationale des chartes, 2000, 99-118: 106*

²⁵⁰ MCCLAUGHIN, TREVOR & PICOLET, GUY, "Un exemple d'utilisation du Minutier central de Paris: la bibliothèque et les instruments scientifiques du physicien Jacques Rohault selon son inventaire après décès", *Revue d'Histoire des Sciences*, 29, n° 1, 1976, pp 3-20

²⁵¹ GEOFFROY & MARTIN, *Catalogus librorum viri Cl. D. Stephanis-Francisci Geoffroy...*

²⁵² ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, *HMARS: 1705, H, 150*

²⁵³ *Ibid.*: 1705, H, 151

Par ailleurs, la bibliothèque montre que sa nomination au poste d'élève astronome n'était pas qu'un prétexte, même s'il n'a pas produit de travaux relatifs à cette science, puisque plusieurs ouvrages d'astronomie figurent parmi les titres.

Le *De motu animalium* de Borelli s'inscrit dans la vision mécanique qu'a Amontons des forces animales, assez visible. Ceci révèle une influence certes attendue, mais symptomatique.

Son intérêt pour la chimie et Lémery est à rapprocher des dissolutions et fermentation froides qu'il traite conjointement avec Geoffroy à l'Académie.

Mais d'autres intérêts pointent dans sa bibliothèque, telles l'histoire naturelle ou la lumière, et surtout la théologie, au vu du nombre relativement important d'ouvrages religieux. A ce propos la présence du *Nouveau Testament* par Quesnel jette un doute : Amontons avait-il des accointances jansénistes ? Pasquier Quesnel (1634-1719) est en effet un proche de Port-Royal, et le livre que détient Amontons a fait l'objet d'une violente polémique avec Louis Antoine de Noailles et Bossuet²⁵⁴. Il faut cependant se garder de toute surinterprétation, puisque figure aussi dans cette liste le *Catéchisme de Meaux*, de Bossuet.

En outre, si se trouve confirmé le goût d'Amontons pour Descartes, il faut noter la présence d'un ouvrage de Gassendi, ce qui montre au moins sa curiosité pour cet auteur.

Enfin on notera son goût pour les auteurs "anciens" tels que La Bruyère et Boileau.

Si les titres ne représentent qu'environ 10% des volumes, ils sont cependant un bon échantillon. A travers celui-ci, Amontons apparaît comme un homme cultivé, grand lecteur, à la curiosité affirmée et diverse, ne se contentant pas de sujets scientifiques. Un homme semble-t-il pieux, en tous les cas pas moins que ses contemporains, et s'intéressant à l'occasion à d'autres sons de cloche que la doctrine officielle.

01.f.iv ADDITION SUR LES INSTRUMENTS DE PHYSIQUE ET DE MATHEMATIQUE

On ne saurait refermer ce paragraphe en omettant de transcrire ici les quelques instruments répertoriés dans son inventaire après décès. Le fait qu'ils soient peu nombreux peut montrer qu'Amontons n'effectue pas toutes ses expériences chez lui. On a vu en effet qu'il les réalise souvent à l'Observatoire. Quoiqu'il en soit, en voici la petite liste, qui a au moins l'avantage de révéler la présence d'un microscope, sans doute en lien avec les travaux de Joblot (cf. supra) :

- Dans la cave :

²⁵⁴ MICHAUD, LOUIS-GABRIEL, *Biographie universelle ancienne et moderne: histoire par ordre alphabétique de la vie publique et privée de tous les hommes...* 45 vols., Paris, A. Thoissier Desplaces, 1843-1865

“Un vieil établi avec plusieurs ciseaux et outils servant à la mécanique, prenez ensemble trois livres, cy III⁺⁺”

- Dans une chambre du premier étage ayant vue sur la rue St Honoré :

“Une pandulle à seconde et minutte dans sa boîte de bois de sapin, prenez ensemble la somme de cinquante livres, cy L⁺⁺”

“Vingt verre (*sic*) de thermomètres, prenez II⁺⁺

Microscope, un oculaire et une lunette d’approche, prenez ensemble dix livres, cy X⁺⁺”

- Dans un petit cabinet à côté :

“[...] plusieurs verres servant à thermomètre”

“[...] plusieurs modèles de bois de mécanique et deux tuyaux de fer blanc servant à lunettes d’approche, dix huit petites boîtes dans lesquelles s’est trouvé plusieurs fils d’archal²⁵⁵ servant à la mécanique, prenez ensemble la somme de quinze livres, cy XV⁺⁺,²⁵⁶

01.g. CONCLUSION

Si le nom d’Amontons n’évoque plus aujourd’hui qu’un vague souvenir à quelques tribologues lui reconnaissant la copaternité, avec Coulomb, d’une loi sur les frottements, Guillaume Amontons fut pourtant à son époque un homme assez en vue, fréquentant la très haute bourgeoisie et les princes de sang. Connu de Pontchartrain, du frère de Louis de XIV, de la princesse Palatine, il a pour amis des membres de la haute bourgeoisie, dont une collection de conseillers du roi et d’officiers de justice, qui ne sont sans doute pas sans lien avec les relations de feu son père. Comme beaucoup d’hommes de son temps, Amontons est ambitieux, et préoccupé par son rang social.

Si son souvenir est aujourd’hui à demi effacé, cela ne tient pas à l’absence de mérite de ses travaux, mais au caractère transitoire des connaissances qu’il a mis au jour. Ses travaux sur les baromètres et les thermomètres en sont le plus parfait exemple. Amontons n’est pas le savant qui révolutionne tout un pan de la science en une nuit; c’est un laborieux qui fait incessamment dialoguer technique et théorie et dont l’œuvre se construit dans la longueur, dans un ouvrage dix, vingt, cent fois remis sur le métier, et toujours enrichi. Une longueur de

²⁵⁵ Fil de fer ou de laiton généralement recouvert de coton, de papier, etc., et destiné aux usages les plus divers

²⁵⁶ Paris, Archives nationales, ET/XXIII/392: Minutier Central, Minutes de M^e Jacques Guesdon, notaire au châtelet de Paris, juillet-décembre 1705, pochette décembre, spéc. 14 décembre 1705. Inventaire après décès de Guillaume Amontons

temps que le destin lui refusera. C'est précisément en 1705, alors qu'il semble avoir pris ses marques à l'Académie, et être de plus en plus investi et productif, qu'il meure subitement. La peine de Fontenelle dans son éloge est sensible, et il ne tarit pas de compliments : il perd un ami, ainsi qu'un collègue.

Amontons était un homme instruit, comme le suggère sa bibliothèque, en grande partie autodidacte, et inventif. Il ne dépend pas d'un système en particulier, et est attaché à l'expérience, deux éléments importants dans la création d'un nouveau concept comme celui de *puissance continue*, pour lequel il ne s'embarrasse guère de réflexions philosophiques sur la nature de la force ou de la quantité de mouvement, mais laisse le champ libre à de nouvelles interprétations.

Cette inventivité, sa fréquentation des grands du royaume et des sphères de la finance, au contact donc avec une éthique de la production qui participe d'une technique gouvernementale mercantiliste, ses habitus d'ingénieurs, et les ouvrages qu'il est amené à réaliser, sont autant d'éléments qui expliquent l'émergence chez lui d'un premier antécédent du concept de travail mécanique. A l'image de son temps, Amontons est une sorte de catalyseur, celui en qui toutes les influences se mêle pour donner à un moment donné une réponse originale à un problème compris différemment.

**Annexe 02 PRESENCE OU ABSENCE DE GUILLAUME AMONTONS
AUX SEANCES DE L'ACADEMIE ROYALE DES
SCIENCES**

Année 1699

Date	Présence¹
Samedi 28 Février ²	NON
Mercredi 4 Mars	NON
Samedi 7 Mars	OUI
Mercredi 11 Mars	OUI
Samedi 14 Mars	OUI
Mercredi 18 Mars	OUI
Samedi 21 Mars	OUI
Mardi 24 Mars	OUI
Samedi 28 Mars	OUI
Mercredi 1 Avril	OUI
Samedi 4 Avril	OUI
Mercredi 8 Avril	OUI
Samedi 11 Avril	OUI
Mercredi 29 Avril Assemblée publique ³	OUI
Samedi 2 Mai	OUI
Mercredi 6 Mai	OUI
Samedi 9 Mai	OUI
Mercredi 13 Mai	OUI
Samedi 16 Mai	OUI
Mercredi 20 Mai	OUI
Samedi 23 Mai	OUI
Mercredi 27 Mai	OUI
Samedi 30 Mai	OUI
Mercredi 3 Juin	OUI
Samedi 6 Juin	OUI
Mercredi 17 juin ⁴	OUI
Samedi 20 Juin	OUI
Mercredi 23 Juin	OUI

Samedi 27 Juin	OUI
Mercredi 1 Juillet	OUI
Samedi 4 Juillet	OUI
Mercredi 8 Juillet	OUI
Samedi 11 Juillet	OUI
Mercredi 15 Juillet	OUI
Samedi 18 Juillet	OUI
Mercredi 22 Juillet	OUI
Vendredi 24 Juillet	OUI
Mercredi 29 Juillet	OUI
Samedi 1er Aout	OUI
Mercredi 5 Août	OUI
Samedi 8 Août	OUI
Mercredi 12 Août	OUI
Vendredi 14 Août	OUI
Mercredi 19 Août	OUI
Samedi 22 Août	OUI
Mercredi 26 Août	OUI
Samedi 29 Août	OUI
Mercredi 2 Septembre	OUI
Samedi 5 Septembre	OUI
Samedi 14 Novembre Assemblée publique ⁵	?
Mercredi 18 Novembre	OUI
Samedi 21 Novembre	OUI
Mercredi 25 Novembre	OUI
Samedi 28 Novembre	OUI
Mercredi 2 Décembre	OUI
Samedi 5 Décembre	OUI
Mercredi 9 Décembre	OUI
Samedi 12 Décembre	NON
Mercredi 16 Décembre	OUI
Samedi 19 Décembre	OUI
Mercredi 23 Décembre ⁶	OUI

¹ Un OUI est noté pour une présence notée si le nom figure dans les en-têtes de séance, ou s'il est mentionné comme ayant lu lui-même un mémoire. Un NON est noté dans les autres cas. Un ? correspond à une séance où les en-têtes ne figurent pas et où Amontons ne lit pas de mémoire

² Guillaume Amontons devient membre de l'Académie le 28 février 1699

³ Première séance dans les locaux du Louvre. Pas de séance entre le 11 et le 29 avril (non inclus)

⁴ Pas de séance entre le 6 et le 17 juin (non inclus)

⁵ Vacances de l'Académie du dimanche 6 septembre au vendredi 13 novembre inclus

⁶ Dernière séance de l'année 1699

Année 1700

Date	Présence
Samedi 9 Janvier ¹	OUI
Mercredi 13 Janvier	OUI
Samedi 16 Janvier	OUI
Mercredi 20 Janvier	OUI
Samedi 23 Janvier	OUI
Mercredi 27 Janvier	OUI
Samedi 30 Janvier	OUI
Mercredi 3 Février	OUI
Samedi 6 Février	OUI
Mercredi 10 Février	OUI
Samedi 13 Février	OUI
Mercredi 17 Février	OUI
Samedi 20 Février	OUI
Mercredi 24 Février	OUI
Samedi 27 Février	OUI
Mercredi 3 Mars	OUI
Samedi 6 Mars	OUI
Mercredi 10 Mars	OUI
Samedi 13 Mars	OUI
Mercredi 17 Mars	NON
Samedi 20 Mars	OUI
Mercredi 24 Mars	OUI
Samedi 27 Mars	OUI
Mercredi 31 Mars	OUI
Samedi 3 Avril	NON
Mercredi 21 Avril Assemblée Publique ²	?
Samedi 24 Avril	OUI
Mercredi 28 Avril	OUI
Vendredi 30 Avril	OUI
Mercredi 5 Mai	OUI
Samedi 8 Mai	OUI
Mercredi 12 Mai	OUI
Samedi 15 Mai	OUI
Mercredi 19 Mai	OUI
Samedi 22 Mai	OUI
Mercredi 26 Mai	NON
Samedi 29 Mai	OUI
Mercredi 9 Juin ³	OUI

Samedi 12 Juin	OUI
Mercredi 16 Juin	OUI
Samedi 19 Juin	OUI
Mercredi 23 Juin	OUI
Samedi 26 Juin	OUI
Mercredi 30 Juin	NON
Samedi 3 Juillet	OUI
Mercredi 7 Juillet	OUI
Samedi 10 Juillet	OUI
Mercredi 14 Juillet	OUI
Samedi 17 Juillet	OUI
Mercredi 21 Juillet	OUI
Samedi 24 Juillet	NON
Mercredi 28 Juillet	OUI
Vendredi 30 Juillet	NON
Mercredi 4 Août	OUI
Samedi 7 Août	OUI
Mercredi 11 Août	OUI
Samedi 14 Août	OUI
Mercredi 18 Août	OUI
Samedi 21 Août	OUI
Mercredi 25 Août ⁴	?
Samedi 28 Août	OUI
Mercredi 1er Septembre	OUI
Samedi 4 Septembre	OUI
Samedi 13 Novembre Assemblée Publique ⁵	?
Mercredi 17 Novembre	NON
Samedi 20 Novembre	NON
Mercredi 24 Novembre	NON
Samedi 27 Novembre	NON
Mercredi 1 Décembre	NON
Samedi 4 Décembre	NON
Mardi 7 Décembre	NON
Samedi 11 Décembre	NON
Mercredi 15 Décembre	NON
Samedi 18 Décembre	NON
Mercredi 22 Décembre ⁶	NON

¹ Première séance de l'année 1700

² Pas de séances entre le 3 et le 21 avril (non inclus)

³ Pas de séances entre le 29 mai et le 9 juin (non inclus)

⁴ La première page de la séance du mercredi 25 août (si tant est qu'elle est bien eu lieu à cette date) est manquante dans les PV.

⁵ Vacances de l'Académie du dimanche 5 septembre au vendredi 12 Novembre inclus.

⁶ Dernière séance de l'année 1700

Année 1701

Date	Présence
Samedi 8 Janvier ¹	NON
Mercredi 12 Janvier	NON
Samedi 15 Janvier	NON
Mercredi 19 Janvier	NON
Vendredi 21 Janvier	NON
Mercredi 26 Janvier	NON
Samedi 29 Janvier	NON
Mardi 1er Février	OUI
Samedi 5 Février	OUI
Mercredi 9 Février	OUI
Samedi 12 Février	OUI
Mercredi 16 Février	OUI
Samedi 19 Février	OUI
Mercredi 23 Février	OUI
Samedi 26 Février	OUI
Mercredi 2 Mars	OUI
Samedi 5 Mars	OUI
Mercredi 9 Mars	OUI
Samedi 12 Mars	OUI
Mercredi 16 Mars	OUI
Samedi 19 Mars	OUI
Mercredi 6 Avril Assemblée publique ²	?
Samedi 9 Avril	OUI
Mercredi 13 Avril	OUI
Samedi 16 Avril	OUI
Mercredi 20 Avril	OUI
Samedi 23 Avril	OUI
Mercredi 27 Avril	NON
Samedi 30 Avril	OUI
Mercredi 4 Mai	OUI
Samedi 7 Mai	NON
Mercredi 11 Mai	NON
Samedi 14 Mai	NON
Mercredi 25 Mai ³	NON
Vendredi 27 Mai	NON
Mercredi 1 Juin	NON
Samedi 4 Juin	OUI
Mercredi 8 Juin	OUI
Samedi 11 Juin	OUI

Mercredi 15 Juin	OUI
Samedi 18 Juin	OUI
Mercredi 22 Juin	OUI
Samedi 25 Juin	OUI
Mardi 28 Juin	OUI
Samedi 2 Juillet	NON
Mercredi 6 Juillet	OUI
Samedi 9 Juillet	OUI
Mercredi 13 Juillet	NON
Samedi 16 Juillet	NON
Mercredi 20 Juillet	OUI
Samedi 23 Juillet	OUI
Mercredi 27 Juillet	OUI
Samedi 30 Juillet	OUI
Mercredi 3 Août	OUI
Samedi 6 Août	OUI
Mardi 9 Août	OUI
Samedi 13 Août	OUI
Mercredi 17 Août	OUI
Samedi 20 Août	OUI
Mardi 23 Août	NON
Samedi 27 Août	OUI
Mercredi 31 Août	OUI
Samedi 3 Septembre	OUI
Mercredi 7 Septembre	OUI
Samedi 12 Novembre Assemblée publique ⁴	?
Mercredi 16 Novembre	NON
Samedi 19 Novembre	NON
Mercredi 23 novembre	NON
Samedi 26 Novembre	NON
Mardi 29 Novembre	NON
Samedi 3 Décembre	NON
Mercredi 7 Décembre	OUI
Samedi 10 Décembre	OUI
Mercredi 14 Décembre	OUI
Samedi 17 Décembre	OUI
Mardi 20 Décembre	OUI
Vendredi 23 Décembre ⁵	OUI

¹ Première séance de l'année 1701

² Pas de séances entre le 19 mars et le 6 avril (non inclus)

³ Pas de séance entre le 14 et le 25 mai (non inclus)

⁴ Vacances de l'Académie du jeudi 8 septembre au vendredi 11 novembre inclus.

⁵ Dernière séance de l'année 1701

Année 1702

Date	Présence
Samedi 7 Janvier ¹	OUI
Mercredi 11 Janvier	OUI
Samedi 14 Janvier	NON
Mercredi 18 Janvier	NON
Samedi 21 Janvier	OUI
Mercredi 25 Janvier	OUI
Samedi 28 Janvier	OUI
Mercredi 1 er Février	OUI
Samedi 4 Février	OUI
Mercredi 8 Février	OUI
Samedi 11 Février	OUI
Mercredi 15 Février	OUI
Samedi 18 Février	NON
Mercredi 22 Février	OUI
Samedi 25 Février	OUI
Mercredi 1 Mars	OUI
Samedi 4 Mars	NON
Mercredi 8 Mars	OUI
Samedi 11 Mars	OUI
Mercredi 15 Mars	OUI
Samedi 18 Mars	OUI
Mercredi 22 Mars	OUI
Vendredi 24 Mars	OUI
Mercredi 29 Mars	OUI
Samedi 1 Avril	OUI
Mercredi 5 Avril	OUI
Samedi 8 Avril	OUI
Mercredi 26 Avril. Assemblée publique ²	?
Samedi 29 Avril	OUI
Mercredi 3 Mai	NON
Samedi 6 Mai	OUI
Mercredi 10 Mai	OUI
Samedi 13 Mai	NON
Mercredi 17 Mai	OUI
Samedi 20 Mai	OUI
Mercredi 24 Mai	NON
Samedi 27 Mai	NON
Mercredi 31 Mai	OUI
Samedi 3 Juin	OUI

Mercredi 14 Juin ³	OUI
Samedi 17 Juin	OUI
Mercredi 21 Juin	OUI
Vendredi 23 Juin	OUI
Mercredi 28 Juin	OUI
Samedi 1er Juillet	OUI
Mercredi 5 Juillet	OUI
Samedi 8 Juillet	OUI
Mercredi 12 Juillet	OUI
Samedi 15 Juillet	OUI
Mercredi 19 Juillet	OUI
Samedi 22 Juillet	OUI
Mercredi 26 Juillet	OUI
Samedi 29 Juillet	OUI
Mercredi 2 Août	OUI
Samedi 5 Août	OUI
Mercredi 9 Août	OUI
Samedi 12 Août	OUI
Mercredi 16 Août	OUI
Samedi 19 Août	OUI
Mercredi 23 Août	OUI
Samedi 26 Août	OUI
Mercredi 30 Août	OUI
Samedi 2 Septembre	OUI
Mercredi 6 Septembre	NON
Mercredi 15 Novembre Assemblée publique ⁴	?
Samedi 18 Novembre	OUI
Mercredi 22 Novembre	OUI
Samedi 25 Novembre	OUI
Mercredi 29 Novembre	OUI
Samedi 2 Décembre	OUI
Mercredi 6 Décembre	OUI
Samedi 9 Décembre	OUI
Mercredi 13 Décembre	OUI
Samedi 16 Décembre	OUI
Mercredi 20 Décembre	OUI
Samedi 23 Décembre ⁵	OUI

¹ Première séance de l'année 1702

² Pas de séances entre le 8 et le 26 avril (non inclus)

³ Pas de séances du 3 au 14 juin non inclus

⁴ Vacances de l'Académie du jeudi 7 septembre au mardi 14 novembre inclus

⁵ Dernière séance de l'année 1702

Année 1703

Mercredi 10 Janvier ¹	OUI
Samedi 13 Janvier	OUI
Mercredi 17 Janvier	OUI
Samedi 20 Janvier	OUI
Mercredi 24 Janvier	OUI
Samedi 27 Janvier	OUI
Mercredi 31 Janvier	OUI
Samedi 3 Février	OUI
Mercredi 7 Février	NON
Samedi 10 Février	OUI
Mercredi 14 Février	OUI
Samedi 17 Février	OUI
Mercredi 21 Février	OUI
Vendredi 23 Février	OUI
Mercredi 28 Février	OUI
Samedi 3 Mars	OUI
Mercredi 7 Mars	OUI
Samedi 10 Mars	OUI
Mercredi 14 Mars	OUI
Samedi 17 Mars	OUI
Mer. 21 mars	OUI
samedi 24 mars	OUI
Mercredi 28 Mars	OUI
samedi 31 mars	OUI
Mercredi 18 avril Assemblée publique ²	OUI
Samedi 21 Avril	OUI
Mercredi 25 avril	OUI
samedi 28 avril	OUI
Mercredi 2 Mai	OUI
Samedi 5Mai	OUI
Mercredi 9 Mai	OUI
Samedi 12 Mai	OUI
Mercredi 16 Mai	OUI
Samedi 19 Mai	OUI
Mercredi 23 Mai	OUI
Samedi 26 Mai	NON
Mercredi 6 Juin ³	OUI
Samedi 9 Juin	OUI
Mercredi 13 Juin	OUI

Samedi 16 Juin	OUI
Mercredi 20 Juin	OUI
Samedi 23 Juin	OUI
Mercredi 27 Juin	OUI
Samedi 30 juin	NON
Mercredi 4 Juillet	OUI
Samedi 7 Juillet	OUI
Mercredi 11 Juillet	OUI
Samedi 14 Juillet	OUI
Mercredi 18 Juillet	OUI
Samedi 21 Juillet	OUI
Mardi 24 Juillet	OUI
Samedi 28 Juillet	OUI
Mercredi 1er Août	OUI
Samedi 4 Août	OUI
Mercredi 8 Août	OUI
Samedi 11 Août	OUI
Mercredi 14 Août	OUI
Samedi 18 Août	OUI
Mercredi 22 Août	OUI
Jeudi 23 Août	OUI
Mercredi 29 Août	OUI
Samedi 1er Septembre	OUI
Mercredi 5 Septembre	OUI
Mercredi 14 Novembre Assemblée publique ⁴	?
Samedi 17 Novembre	NON
Mercredi 21 Novembre	NON
Samedi 24 Novembre	NON
Mercredi 28 Novembre	NON
Samedi 1er décembre	OUI
Mercredi 5 Décembre	OUI
Vendredi 7 Décembre	NON
Mercredi 12 Décembre	OUI
Samedi 15 décembre	OUI
Mercredi 19 décembre	OUI
Samedi 22 décembre ⁵	OUI

¹ Première séance de l'année 1703

² Pas de séances du 31 mars au 18 avril (non inclus)

³ Pas de séances du 26 mai au 6 juin non inclus

⁴ Vacances de l'Académie du jeudi 6 septembre au mardi 13 novembre inclus

⁵ Dernière séance de l'année 1703

Année 1704

Mercredi 9 Janvier ¹	OUI
Samedi 12 Janvier	OUI
Mercredi 16 janvier	OUI
Samedi 19 Janvier	OUI
Mercredi 23 Janvier	OUI
Samedi 26 Janvier	OUI
Mercredi 30 Janvier	OUI
Vendredi 1 février	OUI
Mercredi 6 Février	OUI
Samedi 9 Février	OUI
Mercredi 13 Février	OUI
Samedi 16 Février	OUI
Mercredi 20 Février	OUI
Samedi 23 Février	OUI
Mercredi 27 Février	OUI
Samedi 1er Mars	OUI
Mercredi 5 Mars	OUI
Samedi 8 Mars	OUI
Mercredi 12 Mars	OUI
Samedi 15 Mars	OUI
Mercredi 2 avril Assemblée publique ²	?
Samedi 5 Avril	OUI
Mercredi 9 Avril	OUI
Samedi 12 Avril	NON
Mercredi 16 Avril	OUI
Samedi 19 Avril	OUI
Mercredi 23 Avril	OUI
Samedi 26 Avril	OUI
Mercredi 30 Avril	OUI
Samedi 3 Mai	NON
Mercredi 7 Mai	OUI
Samedi 10 Mai	OUI
Mercredi 21 Mai ³	OUI
Samedi 24 Mai	OUI
Mercredi 28 Mai	OUI
Samedi 31 Mai	NON
Mercredi 4 Juin	OUI
Samedi 7 Juin	OUI
Mercredi 11 Juin	NON
Samedi 14 Juin	NON

Mercredi 18 Juin	OUI
Samedi 21 Juin	OUI
Mercredi 25 Juin	OUI
Mercredi 2 Juillet	OUI
Samedi 5 Juillet	OUI
Mercredi 9 Juillet	OUI
Samedi 12 Juillet	OUI
Mercredi 16 Juillet	NON
Samedi 19 Juillet	NON
Mercredi 23 Juillet	OUI
Samedi 26 Juillet	OUI
Mercredi 30 Juillet	OUI
Samedi 2 Août	OUI
Mercredi 6 Août	OUI
Samedi 9 Août	OUI
Mercredi 13 Août	OUI
Samedi 16 Août	OUI
Mercredi 20 Août	OUI
Samedi 23 Août	OUI
Mercredi 27 Août	OUI
Samedi 30 Août	OUI
Mercredi 3 Septembre	OUI
Samedi 6 Septembre	OUI
Mercredi 12 Novembre Assemblée publique ⁴	OUI
Samedi 15 Novembre	OUI
Mercredi 19 Novembre	OUI
Samedi 22 Novembre	NON
Mercredi 26 Novembre	OUI
Samedi 29 Novembre	NON
Mercredi 3 Décembre	OUI
Samedi 6 Décembre	OUI
Mercredi 10 Décembre	OUI
Samedi 13 Décembre	OUI
Mercredi 17 Décembre	OUI
Samedi 20 Décembre	OUI
Mercredi 24 Décembre ⁵	OUI

¹ Première séance de l'année 1704

² Pas de séances entre le 15 mars et le 2 avril non inclus

³ Pas de séances du 10 au 21 mai non inclus

⁴ Vacances de l'Académie du dimanche 7 septembre au mardi 11 novembre inclus. L'appel n'est pas fait dans cette assemblée publique, mais Amontons y lit un papier sur le baromètre.

⁵ Dernière séance de l'année 1704

Année 1705

Samedi 10 Janvier ¹	OUI
Mercredi 14 Janvier	OUI
Samedi 17 Janvier	OUI
Mercredi 21 Janvier	OUI
Samedi 24 Janvier	OUI
Mercredi 28 Janvier	OUI
Samedi 31 Janvier	OUI
Mercredi 4 Février	OUI
Samedi 7 Février	OUI
Mercredi 11 Février	OUI
Samedi 14 Février	OUI
Mercredi 18 Février	OUI
Samedi 21 Février	OUI
Mercredi 25 Février	OUI
Samedi 28 Février	OUI
Mercredi 4 Mars	OUI
Samedi 7 Mars	OUI
Mercredi 11 Mars	OUI
Samedi 14 Mars	NON
Mercredi 18 Mars	OUI
Samedi 21 Mars	OUI
Mardi 24 Mars	OUI
Samedi 28 Mars	OUI
Mercredi 1 Avril	OUI
Samedi 4 Avril	OUI
Mercredi 22 Avril Assemblée publique ²	?
Samedi 25 Avril	OUI
Mercredi 29 Avril	OUI
Samedi 2 Mai	OUI
Mercredi 6 Mai	OUI
Samedi 9 Mai	OUI
Mercredi 13 Mai	OUI
Samedi 16 Mai	OUI
Mercredi 20 Mai	OUI
Samedi 23 Mai	OUI
Mercredi 27 Mai	OUI
Samedi 30 Mai	OUI
Mercredi 10 Juin ³	OUI
Samedi 13 Juin	OUI
Mercredi 17 Juin	OUI

Samedi 20 Juin	OUI
Mardi 23 Juin	OUI
Samedi 27 Juin	OUI
Mercredi 1 Juillet	OUI
Samedi 4 Juillet	OUI
Mercredi 8 Juillet	OUI
Samedi 11 Juillet	OUI
Mercredi 15 Juillet	NON
Samedi 18 Juillet	OUI
Mercredi 22 Juillet	OUI
Vendredi 24 Juillet	OUI
Mercredi 29 Juillet	OUI
Samedi 1 ^{er} Août	OUI
Mercredi 5 Août	OUI
Samedi 8 Août	OUI
Mercredi 12 Août	OUI
Vendredi 14 Août	OUI
Mercredi 19 Août	OUI
Samedi 22 Août	OUI
Mercredi 26 Août	OUI
Samedi 29 Août	OUI
Mercredi 2 Septembre	OUI
Samedi 5 Septembre ⁴	OUI

¹ Première séance de l'année 1705

² Pas de séances entre le 4 et le 22 avril non inclus

³ Pas de séances entre le 30 Mai et le 10 juin non inclus

⁴ Dernière séance de l'année 1705. Guillaume Amontons meurt pendant les vacances, le 11 octobre 1705.

Annexe 03 ACTIVITES DE GUILLAUME AMONTONS RELEVÉE DANS LES PROCES-VERBAUX DE
L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (1687-1705)

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1686 89 (phys t 12)	48 r°-v°	Samedi 26 Juillet 1687	Hubin introduit Amontons à l'Académie, qui propose un nouvel hygromètre
PV 1686 89 (phys t 12)	49 r°-v°	Samedi 2 Aout 1687	"Monsieur Amontons est venu avec Monsieur Hubin ; qui ont apporté un higrometre de son invention : on a fait quelques essais"
PV 1686 89 (phys t 12)	81 r°-v°	Mercredi 28 d'Avril 1688	"Nouvelle Construction d'un nouveau tube pour faire le Vuide a si petite hauteur perpendiculaire, donnée que ce soit par la seule pesanteur du mercure ou distille [...] liqueur qu'on voudra."
PV 1689 96	122 recto	Mercredi 7 janvier 1693	"Mr Amontons a fait voir une clepsydre d'une nouvelle construction dont il a donné la description pour mettre sans les registres"
PV 1693 96	8 r°	Samedi 20 février 1694	Amontons "a proposé une nouvelle maniere de faire des Pontons pour l'armée"
RECUEIL MACHINES VOL1		1699	Pompe pour élever de l'eau

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1699	137r°	Samedi 28 février 1699	"Persuadé de la vérité du système de Copernic, ou par des suppositions très simples et quelquefois même par des circonstances peu remarquables qui naissent de ces suppositions on explique les Phénomènes les plus difficiles, et qui dans d'autres systèmes font le plus d'embarras, M. Amontons s'engage à finir une sphère artificielle qu'il a déjà commencée, d'une construction toute nouvelle, qui en exposant aux yeux tout ce qui se passe dans le Ciel, et les causes de toutes les apparences qui nous trompent, Épargnera à l'imagination tout le travail dont elle auroit besoin."
PV 1699	148v°	Mercredi 4 mars 1699	Amontons agréé comme élève
PV 1699	372v°	Samedi 20 juin 1699	"Mr Amontons a commencé à expliquer un moyen de faire commodément agir le feu dans les machines comme sait déjà y faire agir l'air et l'eau."
PV 1699	374r°	Mercredi 23 Juin 1699	"Mr Amontons a fini de lire l'ouvrage suivant : Moyen de substituer commodément l'action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les Machines."
PV 1699	573r°	Samedi 19 décembre 1699	"Mr Amontons qui le premier avoit donné occasion d'examiner particulièrement cette machine [la machine sans frottement] a lu aussi ce qu'il avoit découvert par ses expériences et par ses raisonnements: De la résistance causée dans la Machine sans frottement." Puis : "Expérience de la raideur des cordes"
PV 1700	31 r°	Samedi 30 Janvier 1700	"Le P. Gouye et M. de la Hire et des Billettes ont été nommés par Mr le président pour examiner une nouvelle invention que Mr Amontons a imaginé pour la Charrue."
PV 1700	81r°	Samedi 27 février 1700	"Mr Amontons a lu un nouvel écrit sur les frottemens: Continuation de l'Examen des frottemens"

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1701	162v°	Samedi 30 avril 1701	"Mr Amontons dans le dessein de decrire au Roy le Privilege d'une petite machine qu'il a trouvé pour rouler les Paillassons ou Strores qu'on met devant les fentres a lu la description et comme la machine a déjà été exécutée avec succès en plusieurs endroits il n'a pas été necessaire de nommer des commissaires pour l'examiner."
PV 1701	207v°	Samedi 11 Juin 1701	"Mr Amontons a fait voir une eprouvette de sa façon."
PV 1702	256v°	Mercredi 28 juin 1702	"Mr Amontons a commencé la lecture d'un escrit sur une nouvelle propriete du ressort de l'air"
PV 1702	257r°	Samedi 1er Juillet 1702	Amontons a fini son écrit: "Sur quelques propriétés de l'air et le moyen d'en connaitre la température dans tous les climats de la terre."
	267r°	Mercredi 5 Juillet 1702	"Mr Amontons a continué ses expériences. A cette occasion, il a rapporté une manière qu'il a trouvée et enseignée au Sr Hubin pour faire tant de thermomètres qu'on voudra conformes à un que l'on aura reconnu pour bon, en sorte que la boule et le tuyau, soient toujours dans la même proportion. Il remplit séparemment le mercure le tuyau et la boule du thermomètre qu'il a cassé, il pese le mercure qui a rempli ces deux parties. Enuiste il remplit aussi de mercure un tuyau de thermomètre au hazard, le pese, trouve par une règle de trois quelle quantité de mercure doit remplir la boule, et en choisit une qui la contienne juste."
PV 1702	269r°	Samedi 8 Juillet 1702	"Mr Amontons a lu les expétiences suivantes du mercredi 5 Juillet."
PV 1702	273r°	Mercredi 12 Juillet 1702	M Amontons a lu l'écrit suivant sur l'expérience qu'il a faite pendant l'assemblée précédente: Expériences du samedi 8 Juillet 1702. Mr Sauveur a lu l'ecrit suivant : Remarques sur le thermomètre de M Amontons".

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1702	437r°	Samedi 2 décembre 1702	"Mr Amontons a commencé à lire un écrit sur une nouvelle manière d'éprouver la bonté de la "Poudre, par rapport à la facilité plus ou moins grande de s'enflamer."
PV 1702	439r°	Mercredi 6 décembre 1702	Amontons "a fini son écrit qui a été remis entre les mains des commissaires pour les Epreuves."
PV 1702	445r°	Samedi 9 Décembre 1702	"Mrs Varignon, Parent et Amontons ont fait diverses objections a Mr de la Hire sur ce qu'il a avancé dans son écrit de la force des bateaux, que les surfaces du Bateau et de la Vanne étant égales et appliquées à différentes distances du point fixe d'un Treuil, demeureroient en équilibre à cause que la vitesse de l'Eau est partout la même. Le P.Goüye luy avoit fait aussi dans les assemblées précédentes les difficultés sur le même sujet. M de la Hire a promis de penser a tout ce qui a été dit, et de se rendre de bonne foy s'il s'est mépris sur quelque chose."
PV 1702	476v°	Samedi 23 décembre 1702	"Mr Amontons a commencé la lecture d'un écrit sur les soupapes des pompes."
PV 1703	90 r°	Samedi 24 mars 1703	"Exposé d Amontons: présentations des expériences qu il a faites sur le calcul des forces"
PV 1703	102 v°	Mercredi 18 avril 1703 assemblée publique	"Maniere de rectifier avec les nouveaux thermometres les observations faites par les anciens"
PV 1703	161 r°	Samedi 19 mai 1703	"Les nouvelles experiences sur le ressort et poids de l air nous font connaître qu un degre de chaleur mediocre peut reduire l'air dans un etat assez violent pour causer seul de tres grands tremblements et bouleversements sur le globe terrestre."
PV 1703	251 r°	Mercredi 18 Juillet 1703	"Mr Amontons a commence la lecture d'un recit sur les frotemens "
PV 1703	253 r° - 257r°	Samedi 21 Juillet	Suite du texte d'Amontons: "De la resistance causée par le frottement des cordes autour des cilindres, et ce qu'on doit observer dans les machines pour que la resistance cause par les frotements soit la moindre qu'il est possible"

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1703	266 r°	Mardi 24 Juillet	"M Geoffroy a lu un extrait des transaction philosophiques comprenant les comparaisons des divers degres de chaleur, qu'il examinera pour le thermometre d Amontons"
PV 1703	277 r°	Samedi 4 Août	"Amontons a lu l'écrit suivant: Remarque sur la table des degres de chaleur extraite des transaction philosophique, avril 1702, lue par M Geoffroy à l'assemblée du Mardi 24 juillet"
PV 1703	285 r°	Mercredi 8 Août	"Amontons a continué la lecture du texte du jour précédent"
PV 1703	287r°	Samedi 11 Août	"Amontons a fini son ecrit"
PV 1703	297 r°	Jeudi 23 Août	"on a parlé de la manière de juger des differentes eprouvettes proposées et d'une nouvelle poudre faite par un particulier dont Amontons a fait des experiences pour laquelle il la trouve meilleur que les autres."
PV 1704	172 r°- 173r°	Mercredi 18 Juin	"Mr Amontons a lu le discours suivant: Baromètre réctifié." [3 expériences, exemple et table des niveaux de mercure]
PV 1704	180 r°	Mercredi 25 Juin	"Mr Amontons a fait voir une experience qui prouve que la capacité des vaisseaux de verre s'augmente par la chaleur."
PV 1704	284v°	Mercredi 12 novembre 1704	"Mr Amontons a lû l'ecrit sur le barometre, inseré dans le registre au 18 juin"
PV 1705	15r°- 22v°	Samedi 17 Janvier	".M Amontons a lu l'écrit suivant: Obs des hauteurs de la Seine pendant les années 1703 et 1704"
PV 1705	27 r°	Samedi 24 Janvier	"M Amontons a lu l'écrit: Manière dont les Observations de la Seine ont été réduites."
PV 1705	49 r°	Mercredi 11 Février	Amontons "a lu le texte suivant: Baromètre sans Mercure à l'usage de la Mer"
PV 1705	87 r°	Mercredi 18 Mars	Amontons "a lu l'écrit suivant: Sur la dilatation des vaisseaux qui contiennent des Liqueurs."

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1705	91 r°	Samedi 21 Mars	"Mr Geoffroy ayant fait quelques objections a M Amontons sur ce qu'il avait lu dans l'assemblée précédente, on a arrêté qu'il feront ensemble les Expériences qu'il jugeront necessaires pour s'éclaircir entièrement sur ce sujet et qu'ils appelleront quelques Académiciens pour témoins. Mr Carré a proposé quelques Expériences mais peu sûres, contraires au Système de la compression de l'air proportionelle au poids. on a arrêté aussi qu'il fera les Expériences qui conviendront et qu'il en rendra conte."
PV 1705	101r°- v°	Samedi 28 Mars	"Mr Amontons a rendu conte des expériences qui ont été faites chez Mr Geoffroy en présence du P, Goûye et de Mr de la Hire pour savoir s'il était vray que selon ce que Mr Geoffroy a rapporté dans les mémoires de 1700 page 119 de la braise ardent jettée dans de l'eau la refroidit dans le 1er moment et si ce que Mr Amontons prétend que les vaisseaux de Verre dilatent par la chaleur est vray. L'expérience de la braise ne s'est jamais trouvée conforme à ce qu'en avait cru Mr Geoffroy et les Expériences de Mr Amontons rapportées dans ses ecrits et principalement dans celui de 18 Mars ont réussi."
PV 1705	113 r°	Samedi 4 Avril	"Mr Amontons a lu l'écrit : Expériences sur les Dissolutions et fermentations froides de Mr Geoffroy repetées dans les Caves de l'Observatoire."
PV 1705	139 r°	Samedi 25 Avril	"Mr Amontons a rendu conte de quelques expériences qu'il a faites, pour voir si la condensation de l'air est proportionnée au poids, et qui lui ont toujours confirmé cette règle. Ces Expériences avaient été faites à l'occasion de quelques autres proposées par Mr Carré et qui ne s'accordaient pas avec la Règle. Il a été arrêté que Mr Amontons ferait ses Expériences au premier jour en présence de la Compagnie."
PV 1705	143 r°	Samedi 2 May	"Mr Amontons a fait dans l'assemblée des Expériences sur la rarefaction et la condensation de l'air, qu'il continuera, et dont il donnera un mémoire."
PV 1705	149r°- 151r°	Samedi 9 May	"Mr Amontons a continué ses Expériences du 2."
PV 1705	153 r°	Mercredi 13 May	"Mr Amontons a continué ses Expériences."

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1705	157 r°- 158 v°	Mercredi 20 May	"Mr Amontons a continué ses Expériences."
PV 1705	159 r° - 161 v°	Samedi 23 May	"On a ensuite raisonné sur la manière dont il fallait faire le calcul des Expériences de Mr Amontons."
PV 1705	169 r°- 171 r°	Mercredi 10 Juin	"Mr Amontons a lu l'Ecrit Sur la raréfaction de l'air"
PV 1705	211 r°	Mardi 23 Juin	"Mr Amontons a lu une Réponse à la critique de quelques uns de ses Memoires imprimés en 1699 faites par M Parent dans son second Tome des Recherche de Mathématique et de Physique. J'ay communiqué cette Réponse a M Parent [absent]"
PV 1705	215 r°- v°	Samedi 27 Juin	"Mr Parent a commencé à lire une Réplique à la Réponse de Mr Amontons du 23 Juin."
PV 1705	217 v°	Mercredi 1 Juillet 1705	"Mr Parent a fini la lecture de sa Réplique . Mr Amontons a fait quelques expériences par rapport a ce qui est en contestation entre eux et M Gallois a nommé pour Juger de ce différent le P, Gouÿe et Mr Sauveur; ils en feront leur rapport à la Compagnie."
PV 1705	243 r°	Samedi 18 Juillet	Le "P. Gouÿe et Mr Sauveur qui avaient été només le 1er Juillet pour Examiner les points contestés entre Mr Amontons et Mr Parent en ont fait leur rapport, par lequel il a paru que Mr Amontons avoit raison sur les principaux chefs que Mr Parent avoit critiqués. On a délibéré sur la satisfaction que Mr Parent lui devoit, et on a été d'avis que Mr Parent dans son premier Journal ferait une rétraction telle que l'Académie jugeroit a propos et qui conviendroit a Mr Amontons, et que s'il ne continuoit pas son Journal ou qu'il ne vouloit pas faire cette rétraction, l'Académie feroit imprimer son Jugement dans la 1ere histoire qui paraîtra. Mr le Directeur rapportera cette délibération à Mr l'Abbé Bignon qui l'approuvera ou y changera ce qu'il trouvera à propos. Et sur ce que Mr Parent a pris dans ses Journaux le [titre] d'académicien, sans avoir fait examiner selon le Règlement par deux académiciens nommés par la Compagnie il est dit qu'il consultera M l'Abbé Bignon sur les moyens de faire observer plus exactement cet article.

TOME	FOLIOS	DATE	DESCRIPTION
PV 1705	249 v°	Vendredi 24 Juillet	"Mr l'Abbé Gallois a rapporté que Mr L'abbé Bignon a dit que Mr Parent [Absent] mettroit quelque chose de luy dans les mémoires qui s'impriment, et qu'il y prendroit occasion de se retracter."
PV 1705	271 r° - 274 r°	Vendredi 14 Août	Amontons "a lu l'écrit suivant: De la hauteur du Mercure dans les Baromètres. Mr Amontons s'est chargé de faire sur ce Tuyau toutes les Expériences proposées qui se pourront accorder ensemble."
PV 1705	275 r° - v°	Mercredi 19 Août	"Mr Amontons a lû l'Ecrit Suivant: Sur la hauteur du Mercure dans les Baromètres."
PV 1705	279r° - 280v°	Samedi 22 Août	"Mr Amontons a lu l'Ecrit suivant: "Suite des Remarques sur la hauteur du Mercure dans les Baromètres"
PV 1705	303r°- 310 v°	Mercredi 2 Septembre	"Sur ce que Mr Dalesme a demandé des Commissaires pour examiner sa manière d'employer les hômes qui tirent Mr L'abbé Gallois a nommé P Sebastien et M Amontons. M Amontons a lu l'Ecrit suivant: Suite des Remarques sur la hauteur du Mercure dans les Baromètres."
PV 1705	327 r°	Samedi 14 Novembre	Fontenelle lit l'Eloge d'Amontons, décédé le 11 octobre 1705

Annexe 04 LES MOMENTI DE GALILEE

Extrait de la thèse de doctorat de : Christophe Schmit. "Equilibre Et Dynamique. Etudes Sur La Mécanique Française Aux Xviie Et Xviie Siècles: Malebranche, Varignon, Sciences Des Machines Et Collisions." Université de Nantes, 2007, pp. 258-268.

Héritant d'une tradition d'études hydrostatiques, de sciences du mouvement et des machines simples, on pourrait dire du projet galiléen qu'il constitue une tentative de coordination des différents champs de la mécanique menée par une réflexion sur ses premiers principes ; elle ferait alors jouer à la notion de *momento* un rôle unificateur¹.

Un corps manifeste une tendance naturelle à descendre vers le centre de la terre et sa liaison dans un système mécanique modifie cette propension : Galilée introduit la notion de *momento* comme quantification de l'action du poids dans ce système². Cette dernière reçoit différentes mathématisations, comme autant de témoignages de la multiplicité d'influences affectant l'élaboration de la mécanique de Galilée ; témoignage aussi que, tout en reposant sur une assise d'inspiration statique, le savant invite à donner à ce qu'il nomme *momento* une

¹ Voir F. De Gandt, Force et géométrie. Mouvement et mathématiques chez Newton, thèse de doctorat, Paris I-Sorbonne, 1987 (2 vol.) : « l'entreprise intellectuelle de Galilée pourrait être définie, pour faire bref, comme l'essai d'étendre à des domaines nouveaux les concepts et les modes de raisonnement de la science des machines », extension concernant aussi bien la « pesanteur » que « l'action des fluides et la percussion », p. 156. Le "moment" occupe alors la place centrale parmi ces « concepts ». Quant aux « modes de raisonnement », le principe du levier fournit les mises en rapport de grandeurs équilibrées. De même, l'invariance du produit Pv , tirée de la statique, permet de déterminer, par exemple, des grandeurs dynamiques par le biais d'un retour à l'équilibre, le cas du plan incliné en étant une illustration.

² Sur la réception de cette notion par les contemporains lors de la publication en 1612 du Discours sur les corps flottants de Galilée, voir W. Shea, La révolution galiléenne, de la lunette au système du monde, Editions du Seuil, Paris, 1992, pp. 38-39.

portée dynamique³. On retrouverait alors sous cette commune appellation trois grandes acceptions : la composition du poids avec la longueur d'un bras de levier, soit le moment statique ; la combinaison du poids par sa vitesse virtuelle ; enfin, le *momento* dégagé de toute

³ Suivant M. Clavelin, La philosophie naturelle de Galilée, Albin Michel, Paris, 1996 (première édition en 1968), p. 148, trois courants inspirent Galilée lors de la composition de son ouvrage *Le Meccaniche*, daté de la période 1595-1600, qui sera "traduit" ("adapté" conviendrait mieux) par Mersenne en 1634 sous le titre *Les mécaniques de Galilée et paraîtra en italien en 1649* (*Della scienza mecanica e delle utilità che si traggono di quella*).

Le premier courant trouve sa source dans les *Problèmes mécaniques du Pseudo-Aristote*. Dans cet ouvrage, la composition d'un poids situé à l'extrémité d'un levier et de sa vitesse décrite suivant l'arc de cercle deviendra la grandeur permettant de définir des configurations d'équilibre. P. Duhem voit dans cette pratique l'acte de naissance du principe des vitesses virtuelles, voir *Les origines de la statique*, Hermann, Paris, 1905, particulièrement livre I pp. 8-9. L'étude des machines simples passera par une réduction au cas du levier, voir M. Clavelin, op. cit., pp. 148-150. Sur le contenu et l'influence exercée par ce livre tant sur les mécaniciens de la Renaissance que sur Galilée, voir F. De Gandt, *Les Mécaniques attribuées à Aristote et le renouveau de la science des machines au XVI^e siècle*, *Les études philosophiques*, juillet-septembre 1986, pp. 391-405.

Le second courant correspond à la « tradition archimédienne ». Ici, « soucieux de transformer la statique en une science démonstrative, Archimède refuse, dans sa théorie du levier, de rapporter l'équilibre, sous quelque forme que ce soit, aux mouvements virtuels de la puissance et de la résistance », M. Clavelin, op. cit., p. 150. Tout en définissant des situations d'équilibre reposant sur des symétries en considérant le centre de gravité du système et du point d'appui du levier, Archimède « utilise implicitement la notion de moment statique [...], mais il admet encore que celui-ci est toujours mesuré par le produit $P.L$ », *ibid.*, 152. Cette remarque figure dans E. Mach, *La Mécanique exposé historique et critique de son développement*, Hermann, Paris, 1925, première édition française en 1904, pp. 21-22. Sans entrer davantage dans le détail, si M. Clavelin émet des réserves sur la critique de Mach qui met en évidence l'existence d'un « principe supragéométrique » là où le raisonnement se voudrait géométrique, et conclut que la volonté de donner une étude uniquement mathématique n'aboutit pas à une conceptualisation de « la notion de moment statique », *ibid.*, 153.

Enfin, le dernier courant s'inspire du *De ratione ponderis* de Jordanus de Nemore, XIII^e siècle, où l'analyse du levier passe par une détermination des configurations d'équilibre à l'aide de déplacements virtuels des extrémités des bras ; le raisonnement de Jordanus de Nemore repose sur les distances verticales franchies en cas de mouvement du système, *ibid.*, pp. 155-160 et P. Duhem, op. cit., tome I pp. 121-123. P. Duhem insiste sur son influence et celle de son école sur l'élaboration du principe de statique de Descartes. Jordanus de Nemore introduit la notion de « *gravitas secundum situm* », une "pesanteur relative" dépendant de la situation du poids dans une machine et l'applique aux mouvements curvilignes des extrémités des bras d'un levier. Pour des arcs de cercles égaux parcourus par les deux corps, celui qui franchit une plus grande distance verticale à davantage de « *gravitas secundum situm* » ; l'intérêt d'une telle pratique tient dans l'accent mis sur ces déplacements verticaux, préfigurant ainsi le principe des travaux virtuels, voir P. Duhem, op. cit., tome I p. 118 et pour l'analyse du plan incliné, M. Clavelin, op. cit., p. 158-159.

dépendance avec la machine et considéré en lui-même, analyse développée par le biais du plan incliné. Finalement, la science galiléenne s'élabore autour d'une grandeur fondamentale, une « invariant poids-vitesse »⁴ utilisé dans différents domaines de la mécanique.

1.1 Premier sens

Il dérive directement de la loi du levier : « le *moment* est l'inclination du mesme corps lorsqu'elle n'est pas seulement considérée dans ledit corps, mais conjointement avec la situation qu'il a sur un bras de levier, ou d'une balance ; & cette situation fait qu'il contrepèse souvent avec un plus grand poids, à raison de sa plus grande distance d'avec le centre de la balance »⁵. La combinaison du poids et d'une longueur définit alors le moment statique⁶ comme mesure « d'une inclination à descendre ». Galilée met en pleine lumière ce qui n'était qu'en germe chez Archimède, à savoir ce moment statique, en même temps qu'il réduit l'étude des machines simples et composées au cas du levier, ce qui relève cette fois-ci d'une tradition péripatéticienne⁷. Les deux étapes de ce premier volet font finalement reposer la science des machines sur des considérations essentiellement géométriques. Galilée n'en reste cependant pas à ce seul aspect mais intègre la théorie des machines simples à « la

⁴ F. De Gandt, *Les Mécaniques attribuées à Aristote...*, op. cit., p. 403.

⁵ M. Mersenne, *Les Mécaniques de Galilée, édition critique par B. Rochot, PUF, Paris, 1966 (édition originale de 1634)*, pp. 26-27. *L'égalité des moments devient ainsi une condition d'équilibre à l'origine du « principe général, qui sert pour démontrer ce qui arrive à toutes sortes de Machines » : « les poids inégaux suspendus à des distances inégales pèsent également, & sont en équilibre, quand lesdites distances ont mesmes proportion entr'elles que les poids », p. 30. Du coup, le « moment » se définit comme « inclination composée » dépendante de la disposition d'un corps sur une machine : « cette inclination est composée de la pesanteur absolue du corps, & de l'éloignement du centre de la balance, ou de l'appuy du levier », ibid., pp. 26-27. Du même auteur, *Les nouvelles pensées de Galilée, édition critique par P. Costabel et M.-P. Lerner, Vrin, Paris, 1963 (édition originale de 1639)*, adaptation des Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles de 1638, reprennent ce principe d'équilibre basée sur le moment statique, voir début du livre II, pp. 113-118.*

⁶ M. Clavelin, op. cit., p. 163 : « Galilée place expressément la condition d'équilibre de deux poids dans l'égalité de leurs moments statiques, et du coup il énonce le premier principe sur lequel pourra être fondée l'analyse des machines simples ». Dans le même ouvrage : « Galilée est ainsi le premier à dégager explicitement la notion de moment statique, même si l'analyse du levier coudé dans le *De ratione ponderis* en enveloppe la connaissance implicite [...] Cette première acception du concept de momento commande toute la description des machines simples », note 119, p. 161.

⁷ Ibid., p. 163.

science de l'équilibre »⁸ dépendante d'une vision dynamique. On trouvera à cette occasion le second sens de *momento*, faisant alors appel aux dimensions vitesse et temps : ce n'est plus l'emplacement sur un bras de levier qui rend compte des différentes « poussées » d'un poids, mais la vitesse de son déplacement⁹.

1.2 Second sens

Les *Méchaniques de Galilée* rédigées par Mersenne s'ouvrent par une maxime fondamentale présidant à une bonne compréhension des opérations des machines simples : « la nature ne peut être trompée ni céder à ses droits : & nulle résistance ne peut estre surmontée que par une plus grande force »¹⁰. Une juste appréciation du fonctionnement de mécanismes passera alors par la combinaison de quatre grandeurs : le poids à soulever, la force appliquée, la hauteur d'élévation et le temps de parcours¹¹. Une force mouvante, bien que d'intensité moindre qu'une résistance, pourra néanmoins la mouvoir sur une distance donnée à condition de diviser le fardeau en autant de parties l'égalant : l'opération fait alors intervenir une nouvelle dimension fondamentale, le temps (appliquer la force autant de fois qu'il y a de parties : « parce que l'on a souvent beaucoup de temps, & peu de force ; c'est pourquoy la longueur du temps recompense le peu de force »¹²), qui, dans une machine, combiné au chemin parcouru, permettra d'introduire la vitesse.

La machine permet de cumuler l'action de la force (sans faire intervenir l'artifice de la division du poids)¹³. Dès lors, une même force parcourt un certain nombre de fois un espace identique à celui que franchit le poids ; autant de fois que ce dernier la

⁸ Ibid., p. 164.

⁹ Sur la traduction, que nous suivrons, de *momento* par « poussée », voir F. De Gandt [1987], op. cit., p. 155.

¹⁰ Mersenne, *Les Méchaniques*, op. cit., p. 23. Il s'agit ici « que les artisans ne croient pas qu'ils [les instruments de la mécanique] puissent servir aux opérations dont ils ne sont pas capables, & que l'on puisse lever de grands fardeaux avec peu de force ».

¹¹ Ibid., pp. 23-24.

¹² Ibid., p. 24 : « on ne peut pas dire à la fin du transport, que l'on ayt remué un grand fardeau avec peu de force, puisqu'elle a toujours esté égale à chaque partie du fardeau ; de manière que l'on ne gagne rien avec les instruments, d'autant que si l'on applique une petite force à un grand fardeau, il faut beaucoup de temps, & que si l'on veut le transporter en peu de temps, il faut une grande force. D'où l'on peut conclure qu'il est impossible qu'une petite force transporte un grand poids dans moins de temps qu'une plus grande force ».

¹³ Sur ce cumul comme moyen de penser l'action de la gravité, celle de la percussion, par analogie avec la science des machines, voir F. De Gandt [1987], pp. 160-164 et 175-181.

surpasse. S'ensuit sur chaque extrémité des bras d'un levier une inégalité d'espaces parcourus dans un même temps, donc une inégalité de vitesses. Deux poids B et D s'équilibrent sur cet appareil de point d'appui C, avec $B/D=CD/CB$ et $B>D$; « si l'on adjouste quelque chose à l'un »¹⁴ des poids, la nouvelle situation sera GCI (Figure 1).

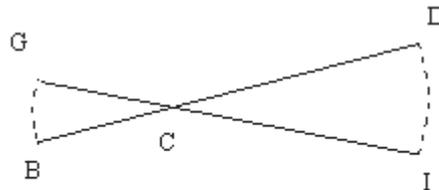


Figure 1

Les triangles semblables impliquent que « le mouvement du poids D descendant en I surpasse autant le mouvement de B en G, comme la distance DC surpasse la distance CB » : la vitesse du poids D surpasse autant de fois celle de B que celui-ci surpasse celui-là ; « il est aysé de conclurre par tout ce discours la grande force qu'apporte la vistesse du mouvement pour accroistre la puissance du mobile, laquelle est d'autant plus grande que le mouvement est plus viste »¹⁵.

Dans ces conditions, intervient le second sens du terme « moment », apparentée ici à une « poussée » identifiable à une combinaison d'un poids et d'une vitesse. Cette fois-ci, l'étude des machines ne dépend plus d'une vision essentiellement géométrique (situation spatiale d'un poids sur un bras) mais bien d'une donnée dynamique dont Galilée dit trouver l'origine dans le texte du pseudo-Aristote¹⁶. Le *momento* sera « cette vertu, cette

¹⁴ Mersenne, *Les Mechaniques*, p. 33. *Le texte de Mersenne tient davantage de l'adaptation que d'une traduction fidèle. F. De Gandt [1989] traduit ce passage par « si l'on ajoutait à l'un des deux une très petite poussée de pesanteur /un minimo de gravità/ », p. 168.*

¹⁵ Mersenne, *Les Mechaniques*, op. cit., p. 33. *Traduction de F. De Gandt [1987] : « Et ce discours peut nous faire connaître comment la vitesse du mouvement a la puissance d'accroître la poussée /momento/ dans le mobile », p. 169.*

¹⁶ Voir dans P. Duhem, op. cit., tome I, pp. 249-250, rapportant des propos de Galilée extraits du *Discours sur les corps flottants* de Galilée : « une telle compensation entre la gravité et la vitesse se retrouve dans tous les instruments de mécanique ; Aristote l'a prise pour principe dans les *Questions mécaniques* ; d'où nous pouvons prendre pour très vraie cette affirmation que deux poids de grandeur inégale s'équilibrent

action, cette puissance efficace, par laquelle le moteur meut et le mobile résiste », combinaison de la gravité et de la vitesse et, dans l'exemple du plan incliné, cette grandeur dépendra « des inclinaisons diverses des espaces en lesquels le mouvement se produit »¹⁷. La « poussée », l'invariant poids-vitesse, devient le concept permettant de comprendre "l'action sur" et le socle sur lequel repose d'autres disciplines mécaniques¹⁸.

1.3 Troisième sens

En préliminaire à sa théorie de la vis, Galilée introduit dans ses *Mécaniques* une analyse du plan incliné. A la question de savoir pourquoi le corps est plus ou moins facilement retenu selon la déclivité du plan, Galilée répondra dans la 6^{ème} journée posthume de ses *Discours* par l'introduction du moment de descente (*momento di discendere*). Le texte de Mersenne de 1634 contient ce nouveau sens venant conférer au *momento* une teneur dynamique.

Cette nouveauté prend pour point de départ une analyse recourant au principe du levier. Un cercle de centre B a pour diamètre un levier de même centre, avec à chaque extrémité des poids A et C égaux (voir figure 2).

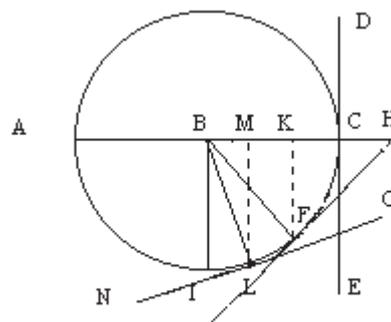


Figure 2

reciproquement et possèdent des momenti égaux, toutes les fois que leurs gravités sont en raison inverse des vitesses de leurs mouvement ».

¹⁷ Voir dans P. Duhem, *op. cit.*, tome I, p. 249. Dans une machine, l'exercice de « l'action » sera dévolu « la puissance et la vertu que la vitesse du mouvement donne au mobile ».

¹⁸ Pour l'hydrostatique, voir W. Shea, *op. cit.*, pp. 36-47.

Le moment statique du poids C diminue par rapport à celui de A lorsque le bras le portant descend en F, donnant alors la configuration d'un levier coudé¹⁹ : le moment de A surpasse celui de C de KC et ainsi de suite suivant la descente de C qui « diminuë son moment & son inclination à aller en bas selon les différentes inclinations des plans FB, LB, &c. » ; si on peut « imaginer » que ce corps glisse sur la surface du quart de cercle CI, « lequel contient un plan qui s'incline perpetuellement de plus en plus », son « inclination à descendre » s'amenuise en même temps que la déclivité de la pente ; conséquemment, cette dernière se référant aux positions C, F, L etc. soit aux différents points C, K, M etc., les diminutions des moments statiques sont proportionnées à celles de sa tendance à descendre en suivant la courbure²⁰.

Galilée assimile ensuite l'« inclinaison » de F sur le cercle avec celle sur la tangente en ce point ; l'« inclination » en chacun des points sera la même que si le corps partait de ces points sur chacune des tangentes. Puisque l'« inclination » suivant le cercle diminue en suivant la même proportion que le moment statique, celle selon la tangente suivra la même proportion. Ainsi en nommant I les « inclinations » et M les moments statiques, $M(C)/M(F)=BC/BK=I(C)/I(F)$. Par construction, $BK/BF(=BC)=FK/FH$ (BFK et FKH semblables), donc $I(C)/I(F)=FH/FK$: « la proportion du moment total & absolu du mobile dans la perpendiculaire de l'horizon avec le moment qu'il a sur le plan incliné HF est la mesme que la proportion de FH à FK »²¹. Le moment intervenant dans cette citation renvoie à « l'inclination » I : il s'agit de ce que la troisième journée des *Discours* nommera le moment de descente²². Cette fois-ci, ce moment ne dépend plus des liaisons du système mais trouve

¹⁹ Mersenne [1634], op. cit., p. 53 : « le moment de F ne sera pas égale au moment de A, parce que la distance du poinct, ou du poids F avec la ligne de direction BI n'est pas égale à la distance de la force, ou du poids A d'avec la mesme ligne de direction ».

²⁰ « Mais quand il est au point F, il est en partie soustenu par le plan circulaire, & sa pente, ou l'inclination qu'il a vers le centre de la terre est autant diminuée que BC surpasse BK », ibid., p. 54.

²¹ Ibid.

²² Galilée, *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles, introduction, traduction et notes par M. Clavelin, Armand Colin, Paris, 1970, p. 146* : « considérez ce fait bien connu que les moments (i momenti) ou les vitesses d'un même mobile varient avec les différentes inclinaisons des plans : la vitesse la plus grande à lieu le long de la perpendiculaire à l'horizon, tandis que sur les plans inclinées elle diminue au fur et à mesure que ceux-ci s'écartent davantage de la verticale, c'est-à-dire deviennent plus obliques ; si bien que l'impeto, la puissance, l'énergie ou, voulons-nous dire, le moment de descente (l'impeto, il

l'autonomie d'une grandeur dynamique ; le moment statique, par le biais du levier, en permet la mesure, mais n'épuise pas à lui seul tout le sens de la nouvelle notion introduite. Puisque le *momento*, la poussée, change suivant l'inclinaison du plan alors même que le poids demeure identique, une rupture s'introduit dans la vision traditionnelle assimilant poids et force motrice : « il devient impossible de réduire sans plus la gravité, entendue comme force motrice, à la gravité entendue comme poids, et un nouveau concept est nécessaire pour décrire le mouvement d'un grave vers le bas » et le *momento* « traduira, pour une situation donnée, l'intensité de la force dont dépend le mouvement vers le bas : il devient à proprement parler la cause du mouvement »²³. Par conséquent, le *momento* « permet de penser cette fonction motrice en elle-même, et donc d'en faire un objet de pensée autonome »²⁴.

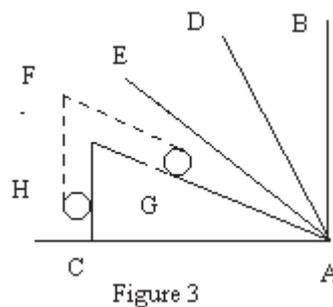
Après avoir exprimé la variation de « l'impeto » suivant l'inclinaison des plans, le « scholie de Viviani » figurant dans les *Discours* (voir note précédente) reprend « ce que notre Académicien, dans un ancien Traité de mécanique écrit autrefois à Padoue à l'intention seulement de ses élèves, avait démontré longuement et de façon concluante, en

talento, l'energia o vogliam dire il momento di discendere) sont diminués dans le mobile par le plan sur lequel il prend appui et descend ». Ce texte (le « scholie de Viviani », nom du disciple l'ayant notée sous la dictée de Galilée) n'apparaît pas dans l'édition de 1638, ni dans celle de Mersenne de 1639 (Les nouvelles pensées de Galilée, édition critique par P. Costabel et M.-P. Lerner, Vrin, Paris, 1963), mais seulement en 1656. M. Clavelin relève trois acceptions différentes pour « momento », présentes dans la 3^{ème} Journée de ces *Discours* : « la quantité dont croît la vitesse naturellement accéléré en des intervalles de temps égaux successifs (momento di velocità) ; « pour décrire une grandeur dynamique, associée au mouvement, équivalente en fait à la force vive de la mécanique classique » ; « par l'expression momento di discendere, Galilée désignera alors la grandeur de la force qui sur le plan incliné assure le mouvement plus ou moins rapide d'un corps vers le bas », voir note 85 p. 259.

²³ M. Clavelin, La philosophie naturelle de Galilée, op. cit., p. 174.

²⁴ Ibid., p. 174. Pour autant, comme le montre F. De Gandt, le « lien causal » entre les « poussées » causées par la pesanteur et l'augmentation de vitesses « reste caché ». Galilée ne semble pas formuler de relation entre les « poussées » intervenant dans les machines et la vitesse acquise lors d'une chute libre. A contrario, le disciple Torricelli associe poids et force dans leur lien génétique avec la vitesse dans une « thèse [qui] peut être considérée comme équivalente au principe : une force constante engendre une accélération », là où Galilée en reste à un « parallélisme » entre les momenti et l'acquisition de vitesse. Voir F. De Gandt [1987], op. cit., pp. 180-190 ; voir aussi infra pour ce parallélisme. Conséquemment, notons pour éviter tout risque d'anachronisme que le travail de Galilée permet de penser la « force motrice » suivant le mot de M. Clavelin, sans en définir explicitement les modalités d'action.

considérant l'origine et la nature de ce merveilleux instrument qu'est la vis »²⁵. Le texte en question (l'« ancien Traité ») correspond aux *Mécaniques*, et consiste en la mise en relation de « l'impeto et le moment de descente d'un grave » le long d'un plan incliné et le long de la verticale²⁶. On ne reproduira pas le raisonnement, disons qu'il se base sur l'idée que le « moment de descente » est égal « à la plus petite résistance » qu'il faut opposer à la descente du mobile ; Galilée place un contrepoids H équilibrant le système qu'il soumet à un déplacement : le poids G reposant sur le plan ne résiste que par « la nécessité de franchir la distance verticale » du plan tandis que l'autre parcourt un chemin vertical égal à la longueur de ce plan (voir figure 3).



Ainsi, « s'il doit y avoir équilibre, c'est-à-dire repos des mobiles, leurs moments, leurs vitesses ou leurs propensions au mouvement (*i momenti, le velocità o le lor propensioni al moto*) ou encore les espaces qu'ils passeraient dans un même temps, doivent être en raison inverse de leur gravité, conformément à ce que l'on démontre pour tous les mouvements mécaniques »²⁷. Si les distances entre les poids suivent la proportion des dimensions du plan, l'équilibre s'ensuivra. Le raisonnement repose sur la méthodologie des machines, et si les déplacements imposés semblent finis, Galilée mentionne les « propensions » et emploie le conditionnel (« passeraient »), les deux impliquant une virtualité. Ainsi « la force ou plus petite résistance » H mesure la « propension » ou « moment de descente partiel du poids G ». Il suit naturellement que « l'impeto ou moment de descente partiel de G sur la plan incliné FA sera à son moment total le long de la perpendiculaire FC

²⁵ Galilée, *Discours*, op. cit., pp. 146-147.

²⁶ Voir *Les Mécaniques*, op. cit., pp. 52-55. Cette adaptation de Mersenne ne reproduit pas à la lettre la démonstration contenue dans les *Discours*, mais l'esprit est le même.

²⁷ Galilée, *Discours*, op. cit., p. 147.

comme le poids H est au poids G, c'est-à-dire, par construction, comme la perpendiculaire FC, hauteur du plan incliné, est à la longueur FA du même plan »²⁸.

Dans un paragraphe suivant, Galilée analyse la relation des vitesses de chute le long de plans de même hauteur mais diversement inclinés²⁹. Pour chacun des deux corps, on connaît, grâce au raisonnement rapporté ci-dessus, la proportion de leurs moments empêchés par des contrepoids. Que se produit-il une fois ces derniers ôtés ? Galilée répond que « tels que furent les élans (impeto) dans le premier ébranlement, tels seront, proportionnellement, les degrés de vitesse gagnés en un même temps, puisque ceux-ci et ceux-là croissent selon la même proportion »³⁰. Les vitesses croissent suivant la proportion des moments, les deux évoluent semblablement, sans qu'une définition explicite de la relation entre pesanteur/poussée ne soit établie³¹.

Le terme « moment » recouvre donc la signification d'effort/poussée intervenant dans une machine simple où il consiste en une combinaison d'un poids ou force motrice avec une vitesse réelle (déplacement d'une charge) ou virtuelle (situation d'équilibre), et celle d'une action d'un corps en chute libre (la poussée de la pesanteur). Finalement, on passerait d'une situation statique faisant intervenir le principe des vitesses virtuelles à une dynamique où l'action se substitue à une configuration d'équilibre.

Le principe de statique suppose un système de forces équilibrées auxquelles on imprime un déplacement élémentaire afin d'étudier leurs relations : ainsi le mouvement de poids équilibrés sur un plan incliné détermine leurs proportions d'après les dimensions de l'appareil. A l'unique vitesse donnée correspondent des vitesses différentes pour chaque poids puisque seules certaines de leurs composantes doivent être prises en compte (ainsi le déplacement selon la seule verticale pour le poids reposant sur le plan) ; bref, des vitesses suivant la direction des forces. Le mouvement en question est celui imposé aux tendances que

²⁸ Ibid., p. 148.

²⁹ Ibid., p. 148. *Un théorème précise que les mobiles partant du repos, les vitesses acquises le long de ces plans sont égal à l'arrivée sur le plan horizontal.*

³⁰ Traduction F. De Gandt [1987], thèse, op. cit., p. 189. *La traduction de M. Clavelin diffère en insistant moins sur ces « élans » au commencement du mouvement, mais en mentionnant un « impeto total » dans une « partie de mouvement » : « tels aura été l'impeto total communiqué dans une partie du mouvement, tels seront proportionnellement les degrés de vitesse acquis pendant le même intervalle de temps, puisque celui-là et ceux-ci croissent en même temps avec la même proportion », Discours, op. cit., p. 148.*

³¹ Voir note ci-dessus.

sont les forces ; nous avons vu que Galilée “chargeait” d’une petite masselotte ou donnait une petite impulsion à un bras de levier afin d’étudier les conditions d’équilibre du système (voir *supra* 2.2). Dans le cas de la chute libre, les vitesses ne correspondent plus à ces déplacements imposés mais aux tendances elles-mêmes, à l’action des poids. Les vitesses virtuelles de l’équilibre sur un plan définiraient le comportement des vitesses effectives lors de chute. Mieux, elles s’y identifieraient, puisque quel que soit l’instant de chute, les poussées « dans le premier ébranlement » définissent la proportion des deux catégories de vitesses, les virtuelles comme les réelles. La transition des efforts statiques (force-vitesse virtuelle) aux efforts dynamiques (acquisition de vitesse par la pesanteur) est obscure. Nous reviendrons par la suite sur cette notion « d’effort » en tant que son ambiguïté peut permettre une application assez large de la notion d’équilibre, jusqu’à y inclure des phénomènes dynamiques tels que le choc de corps.

La mécanique ainsi fondée devrait reposer sur une grandeur invariante poids-vitesse ; elle permettrait alors d’unifier la science des machines, l’hydrostatique, ainsi que la dynamique. Nous constaterons que la tâche des français consistera à adjoindre à ces différents domaines le phénomène de collisions de corps afin d’en établir des règles, faisant ainsi se rencontrer l’analyse galiléenne et un programme de recherche cartésien.

Annexe 05

CONTRAT DE MARIAGE ENTRE GUILLAUME
AMONTONS ET MARIE MARGUERITE CHARMOY

1702, 18 avril (à Paris)

**Contrat de mariage
entre Guillaume Amontons et Marie Marguerite Charmoy
(avec quittance de dot en marge, datée du 21 juin 1705)**

SOURCE DU TEXTE

Paris, Arch. nat., Minutier central, étude LXXVIII, liasse 493 : Minutes de M^e Hugues Bru, notaire au châtelet de Paris, avril-juin 1702, spéc. 18 avril 1702 (d'après des photos numériques de Yannick Fonteneau).

[En marge] 18^e avril 1702.

[En marge] Fait <expédition>.

Furent presens sieur Guillaume Amontons, de l'Academie royalle des sciences, demeurant à Paris rue saint Honoré parroisse saint Germain de l'Auxerrois, fils de deffunts M^e Guillaume Amontons, bourgeois de Paris, et de damoiselle Ester du Bié, sa femme, pour luy et en son nom, d'une part, sieur Sebastien Charmoy, marchand bourgeois de Paris, et Marie Margueritte du Puy, sa femme, qu'il autorize à l'effet qui suit, demeurans susdites rue et parroisse, tant en leurs noms que comme stipulans pour damoiselle Marie Margueritte Charmoy, leur fille, à ce presente et de son consentement, pour elle et en son nom, d'autre part.

Lesquelles partyes, en la presence et du consentement de leurs parens et amis sous nommez, sçavoir de la part dudit sieur Amontons, de messire Jean Paul Bignon, conseiller d'Etat ordinaire, abbé de Saint Quentin, Pierre Marcadé, escuyer, conseiller secre[taire] du roy, maison, couronne de France et de ses finances, et dame Jeanne Regnard, son epouze, M^e Louis Le Gay, avocat en la cour, M^e Charles Marcadé, conseiller du roy maistre ordinaire en

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

sa Chambre des comptes, et dame Marie Elizabeth de Tourmon (*sic*), son epouze, M^{re} Claude François de la Croix, conseiller du roy receveur general des finances de Moulins, M^{re} Jean Baptiste Chaumel (*sic*), chevalier, et dame Françoise de la Croix, son epouze, M^{re} Jean Baptiste Chaumel, chevalier, M^{re} Anne François Hubert, chevalier, seigneur de Faronville, commandeur de l'ordre de saint Louis, M^{re} Hilaire Langlois, escuyer, conseiller du roy correcteur ordinaire en sa Chambre des comptes, M^{re} Pier[re] Maurice Haranger, chanoine de l'église royalle de saint Germain de l'Auxerrois, M^{re} Bernard de Fontenelle, de l'Academie françoise et secretaire perp[etuel] de l'Academye royalle des sciences, M^{re} Jean Baptiste Bunault, escuyer, sieur de Fremont, conseiller du roy auditeur en sa Chambre des comptes, et dame Marie Anne Luillier, son epouze, M^{re} Jean François Bunault, escuyer, sieur de Fremont, M^{re} Louis Portail, escuyer, seigneur de Marangle, M^e Claude Carpet, avocat en la cour, et dam^{lle} Elizabeth Vaucherot, son epouze, M^e Pierre Louis du Tertre, aussy avocat en la cour, et dame Helene Pageau, son epouze, M^e Arlot^(a), conseiller du roy premier medecin de S. A. R. Madame, M^e Jacques Guesdon, bourgeois de Paris, sieur Jean Deshayes, ingenieur du roy, sieur Louis Hubin, emailleur ordinaire du roy, dam^{lle} Louise Hubin, fille, et sieur Thobie Tourneur, arquebuzier ordinaire du roy, tous amis ; et de la part de ladite dam^{lle} Marie Margueritte Charmoy, de sieur Martin Charmoy, marchand bourgeois de Paris, ayeul paternel, sieur Louis Dupuis, bourgeois de Paris, et Gabrielle Faucet (*sic*), sa femme, ayeuls maternels, Louis et Louis Sebastien Charmoy, freres, sieur Claude Dupuy, bourgeois de Paris, oncle maternel, Mathieu Dupuy, bourgeois de Paris, aussy oncle maternel, et dam^{lle} Marie Anne de Lattre, son epouze, sieur Nicolas Dupuy, marchand de vin, oncle maternel, et Charlotte Combault, sa femme, sieur Charles <Poillard>^(b), marchand espicier bourgeois de Paris, et Margueritte Dupuy, sa femme, tante maternelle, sieur Michel Coullon, marchand de vin, et Marie Madelaine Dupuy, sa femme, aussy tante maternelle, M^e Julles Sebastien Joly, commis au Bureau du controlle des finances de France, cousin, et dam^{lle} Jeanne Anne Auvergnat, son epouze, damoiselle Charlotte Le Gay, fille, cousine, dam^{lle} Margueritte Parchot, veuve de M^e Claude Auvergnat, lieutenant de la mareschaussée de Bourbonnois, M^e Louis Aboillard, procureur au Chastellet, dam^{lle} Catherine Roussel, veuve du sieur François Flahault, marchand de vins bourgeois de Paris, et damoiselle Françoise Flahault, fille, amis, tous à ce presens et comparans ; ont volontairement reconnu et confessé avoir fait et accordé entr'elles le traitté de mariage, clauses et conditions qui suivent.

^(a) prénom laissé en blanc

^(b) patronyme omis, restitué d'après les signatures

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Sçavoir que lesdits sieur Charmoy et sa femme promettent donner ladite dam^{lle} Marie Margueritte Charmoy leur fille, de sondit consentement, par nom et loy de mariage audit sieur Guillaume Amontons, qui promet la prendre pour sa femme et legitime espouze, et en faire les solemnitez en face de notre mere sainte Eglise et sous la license d'icelle dans le temps qu'ils conviendront entr'eux et leursdits parents et amis.

Pour estre comme seront lesdits sieur et dam^{lle} futurs epoux communs en biens meubles et conquests immeubles suivant la coutume de Paris, au desir de laquelle leur future communauté sera regie et gouvernée, encorre qu'ils allassent demeurer ou fissent des acquisitions en pais et coutumes contraires, ausquels est pour ce regard derogé et renoncé, et speciallement à la coutume de Normandie.

Ne seront neantmoins tenus des debtes et hypotecques l'un de l'autre faites et créées avant leur mariage, et sy aucunes y a, elles seront payées et acquittées par le debiteur d'icelles et sur son bien, sans que l'autre ny ses biens en soient tenus.

Se prennent lesdits sieur et damoiselle futurs epoux aux biens et droits qui leur appartiennent, ceux de ladite future epouze concistant en la somme de six mil livres que lesdits sieur Charmoy et sa femme luy constituent en dot en avancement d'hoirie de leurs futures successions^(c), sçavoir deux mil quatre cent livres en meubles, linges, hardes et ustancilles de mesnage de pareille valeur, que lesdits futurs espoux, elle de luy autant que faire le peut autorisée, reconnoissent leur avoir esté fournis par lesdits sieur Charmoy et sa femme, dont ils se contentent et les en quittent ; et trois mil six cent livres à quoy ont esté évaluées entre les partyes trois années de nouritures et logement desdits futurs epoux et d'un valet, que lesdits sieur Charmoy et sa femme s'obligent solidairement l'un pour l'autre chacun d'eux seul pour le tout sans division, discussion ny fidejussion à quoy ils renoncent, leur fournir et audit valet en leur maison, et pour leur logement occuperont l'appartement que tient à present ledit sieur futur epoux en ladite maison. Et sy au sujet du fournissement desdits nouritures et logement, il survenoit entre les partyes quelques contestations, ladite somme de trois mil six cent livres ou ce qui en resteroit lors à acquitter sera payée par lesdits sieur Charmoy et sa femme ausdits futurs espoux en deniers comptans en trois payemens egaux d'année en année, auquel cas lesdits s^r [Ch]armoy et sa femme [de]meureront dechargez desdits nouritures et logement^(d).

^(c) *en avancement ... successions* aj. en marge avec signe de renvoi, suivi des initiales et paraphe des parties

^(d) *Et sy ... logement* aj. en marge avec signe de renvoi, suivi des initiales et paraphe des parties

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

De laquelle somme de six mil livres, le tiers entrera en ladite communauté et les deux autres tiers demeureront propres à ladite dam^{lle} future epouze et aux siens de son costé et ligne, avec tout ce que pendant ledit mariage luy aviendra et echera par succession, donation ou autrement en meubles et immeubles.

Moyennant laquelle dot lesdits futurs espoux ny leurs enfans ne pourront demander aucun compte ny partage au survivant desdits sieur Charmoy et sa femme des biens du predecedd^e, desquels ledit survivant jouira sa vie durant en usufruit, en faisant faire inventaire et observer le semblable par leurs autres enfans.

Ledit futur epoux a doué ladite future espouze de la somme de cinq cent livres de rente de douaire prefix au cas qu'il y ait enfans vivans dudit mariage lors du deceds dudit futur espoux, ausquels enfans ledit douaire sera propre, et s'il n'y a point d'enfans vivans lors dudit deceds ledit douaire sera de la somme de dix mil livres de douaire prefix une fois payer et sans retour, à avoir et prendre l'un ou l'autre desdist douaires aussy tost qu'il aura lieu sur tous les biens presens et à venir dudit sieur futur espoux.

Le survivant desdits sieur et dam^{lle} futurs espoux aura et prendra par preciput en deniers ou meubles de leur communauté tels qu'il voudra choisir, suivant la prisée de l'inventaire et sans crue, la somme de douze cent livres, au choix et option dudit survivant.

S'il est vendu et alienné aucuns biens ou rachepté quelques rentes appartenans en propre à l'un ou l'autre des futurs epoux, remploy sera fait des deniers en provenans en acquisitions d'autres heritages ou rentes pour sortir mesme nature de propre à celuy ou celle du costé duquel lesdits propres aliennez auroient proceddez et aux siens de son costé et ligne. Et sy au jour de la dissolution de ladite communauté ledit remploy n'estoit fait, les deniers^(e) en provenans seront repris sur les biens de ladite communauté s'ils suffisent, et s'ils ne sont suffisans à l'égard de ladite future epouze, ce qui s'en deffaudra se reprendra sur les propres et autres biens dudit futur epoux. Et vaudra l'action dudit remploy mesme nature d'immeubles que s'il avoit esté fait en faveur de chacun desdits futurs epoux et des siens de son costé et ligne.

Sera permis à ladite future espouze et aux enfans qui naistront dudit mariage de renoncer à ladite communauté et de reprendre franchement et quittement tout ce que ladite future epouze aura apporté en mariage, ce que pendant iceluy luy sera avvenu et écheu par succession, donation ou autrement en meubles et immeubles, mesme ladite future epouze sy elle survit ses douaire et preciput susdits, sans estre par ladite future epouze ny ses enfans

^(e) suivi de *ser<ont>* rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

tenus des debtes et hipotecques de ladite communauté encorre qu'elle y eust parlé, s'y fust obligée ou y eust esté condamnée, dont ils seront acquittez et indemniséz par les heritiers et sur les biens dudit sieur futur epoux, pour raison de quoy et des autres conditions du present contrat, il y aura hipotecque sur lesdits biens de ce jourd'huy.

Et pour l'amitié que lesdits sieur et damoiselle futurs epoux se portent, ils se font par ces presentes donation mutuelle entre vifs et reciproque l'un à l'autre et au survivant d'eux, ce acceptant par ledit survivant, de tous et chacuns les biens meubles, acquests, conquests, immeubles, propres et autres generalmente quelconques qui se trouveront appartenir au premier mourant d'eux, à quelques sommes qu'ils se puissent monter et en quelques lieux qu'ils soient assis et scituez, sans^(f) exception ny reserve que de ce qui sera cy apres dit, pour par ledit survivant et ses aians cause jouir et disposer desdits biens comme de chose luy appartenant en toute propriété, pouveu qu'au jour du deceds dudit premier mourant il n'y ayt aucun enfant vivant dudit mariage, se reservant neantmoins lesdits futurs espoux de disposer de telle maniere et en faveur de qui bon leur semblera de leursdits biens jusques à concurrence, sçavoir ledit futur espoux de douze mil livres et ladite future epouze de trois mil livres, le tout une fois payer. Et au cas qu'ils n'en ayent disposez au jour du deceds dudit premier mourant, lesdits sommes ou ce dont ils n'auroient disposez demeureront compris et feront partye de ladite donation en faveur dudit survivant et de ses aians cause, pour en jouir par eux en toute propriété, ainsy que des autres biens, se faisant à cette fin toute donation necessaire entre vifs et reciproque, ce acceptant par ledit survivant.

Et pour faire insinuer ces presentes par tout où besoin sera, les partyes ont constitué leur procureur le porteur des presentes, luy en donnant tout pouvoir et d'en requerir acte.

Car ainsy a esté accordé entre lesdites partyes, promettant etc., obligeant etc., chacun à son esgard etc., renonçans etc.

Fait et passé à Paris en la maison où les partyes sont demeurantes devant declarée le dix huitiesme jour d'avril apres midy mil sept cent deux, et ont signé

		MARCADÉ
J. P. BIGNON		J. REGNARD
FONTENELLE	MARCADE	LEGAY ^(g)
BUNAUT DE FREMONT		M. E. DE TOURMONT
M. A. LHUILLIER		

^(f) suivi de *ou rayé*

^(g) *LEGAY* lecture incertaine

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

BUNAUT DE FREMONT		FARONVILLE
C. PAGEAU (<i>sic</i>)	L. HUBIN	LANGLOYS
AMONTONS	ARLOT	DUTERTRE
	LOUISE C. HUBIN	
MARIE MARGUERITE CHARMOY		GUESDON
SEBASTIEN CHARMOY	FRANÇOISE FLAHAULT	
MARIE MARGUERITE DUPUIS		L. PORTAIL
M. CHARMOY	CARPET	JOLY
LOUIS DUPUIS		VAUCHEROT
GABRIELLE FOSSEZ		CATERINE ROUSSELLE (<i>sic</i>)
LOUIS CHARMOY		CHOMEL
SEBASTIEN CHARMOY		FLAHAUT ^(h)
DESHAIES	DELACROIX	F. DELACROIX
J. AUVERGNAT		
C. POILLARD		CHOMEL
MARGUERITTE DUPUY	ABOILLARD	HARENGER
M. C. LE GAY (<i>sic</i>)	THOBIE TOURNEUR	
CLAUDE DUPUIS		MARIE MAGDELEIN (<i>sic</i>) DUPUIS
M. COULON		
GUYOT		BRU

Suite des signatures du present contrat :

CHARLOT CONBAULT (<i>sic</i>)	MATHIEU DUPUIS
MARIE ANNE DELATTRE	NICOLAS DUPUIS

[Quittance de dot écrite en marge de la minute :]

Ledit sieur Amontons et ladite dam^{lle} Marie Marguerite Charmoy, à present son épouse, de luy autorisée, ont reconnu que ledit sieur Sebastien Charmoy et ladite⁽ⁱ⁾ Marie Marguerite du Puy, sa femme, leur ont, au desir de leur contrat de mariage escrit cy endroit, fourni les trois années de nouritures y portées évaluées par iceluy à la somme de trois mil six

^(h) signature d'un témoin non dénommé dans l'acte, vraisemblablement un proche parent (fils ?) de défunt François Flahault et de Catherine Roussel

⁽ⁱ⁾ et ladite répété par erreur

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

cent livres, desquelles ledit sieur et dam^{lle} Amontons se tiennent content et en dechargent
lesdits sieur et dame Charmoy et tous autres, promettans etc., renonçans etc.

Fait et passé à Paris en l'étude de Bru, notaire, l'an mil sept cent cinq le vingt un juin
apres midy, et ont signé

AMONTONS

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

GUYOT

BRU

Annexe 06 INVENTAIRE APRES DECES DE GUILLAUME
AMONTONS

1705, 14-19 décembre (à Paris)

Inventaire après décès de Guillaume Amontons

SOURCE DU TEXTE

Paris, Arch. nat., Minutier central, étude XXIII, liasse 392 : Minutes de M^e Jacques Guesdon, notaire au châtelet de Paris, juillet-décembre 1705, liasse décembre, spéc. 14 décembre 1705, 40 p. n. ch. (39-40 bl.).

[*En marge*] Inventaire, 14 decembre 1705.

[*En marge*] Fait <expedition>.

[*En marge*] Tenu pour clos le vingt deux decembre mil sept cent cinq. (*Signé* :) CHAILLOU, GAUDION.

L'an mil sept cent cinq, le lundy quatorziesme jour de decembre deux heures de relevée, à la requeste de M^e Julle Sebastien Joly, commis au bureau du controlle general des finances de France, demeurant vieille rue du Temple et paroisse S^t Gervais, au nom et comme tuteur à l'effet cy apres de damoiselle Marie Margueritte Charmoy, sa cousine, à cause de sa minorité, veuve de sieur Guillaume Amontons de l'Academie royalle des sciences, ladite damoiselle veuve en son nom à cause de la communauté de biens qui a esté entre ledit deffunt sieur son mary et elle, qu'elle pourra (*sic*) accepter ou y renoncer ainsy qu'elle jugera à propos par conseil, comm'aussy à la requeste de Jacques Rebut sieur des Tostes, demeurant ordinairement à Rouen, estant de present à Paris^(a) en la maison où est pour enseigne La pomme d'orange rue de la Chanvererie paroisse Saint Eustache, au nom et comme procureur de M^e David Amontons, prestre curé de Fresne Lesplan (*sic*) y demeurant, fondé de sa procuration speciale à l'effet qui suit, passée devant Coignard et Mauduit, notaires audit

^(a) suivi de *rue rayé*

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Rouen, le seiziesme octobre dernier, deument scellée et controllée, expedition de laquelle a esté déposée pour minutte à Guesdon, l'un des notaires soussignez, le cinquiesme du present mois, ledit sieur David Amontons au nom et comme tuteur de Marie Madelaine Amontons,agée de trois mois ou environ, fille unique dudit deffunt sieur Guillaume Amontons et de ladite damoiselle à present sa veuve, ladite mineure seulle habille à se dire et porter heritiere dudit deffunt sieur Amontons son pere, et en la presence de sieur Sebastien Charmoy, marchand de vins bourgeois de Paris, y demeurant rue S^t Honoré parroisse S^t Germain de l'Auxerrois, au nom et comme subrogé tuteur de ladite mineure sa petite fille, ledit sieur Joly esleu tuteur à ladite damoiselle veuve, ledit sieur Amontons curé aussy esleu tuteur à ladite mineure jusques à la majorité de ladite damoiselle veuve sa mere, et ledit sieur Charmoy aussy esleu subrogé tuteur, suivant la sentence du chastelet de Paris du unziesme decembre present mois, portant omologation de l'avis des parens et amis de ladite damoiselle veuve et de la mineure sa fille, et par lesdits sieurs Joly, Charmoy et Destostes (*sic*), lesdites qualitez acceptez par acte estant ensuite de ladite sentence du mesme jour, le tout estant au registre de Baillet, greffier de la chambre civile dudit chastelet, à la conservation des droits des partyes esdits noms et de tous autres qu'il appartiendra, a esté par les notaires à Paris soussignez fait inventaire et description des biens meubles, ustancilles d'hotels, vaisselle d'argent, titres, papiers et autres effets, dellaissez par ledit deffunt, qui estoit commun en biens avec ladite damoiselle veuve, trouvez et estant es lieux qu'il occupoit où il est decedé le unziesme octobre dernier, deppendants d'une maison scize rue S^t Honoré où est pour enseigne L'isle d'amour, dont est principal loccataire ledit sieur Charmoy, dans lesquels lieux ladite damoiselle veuve est encore demeurante, lesdits biens representez tant par ladite damoiselle veuve Amontons, pour ce presente, que par Antoine Bomille, leur domestique, apres que serment par eux fait es mains desdits notaires de n'en avoir detournez ny rescellez (*sic*) aucuns, lesdits meubles prisez et estimez par Simon Monet, huissier priseur vendeur de biens meubles audit chastelet, aux sommes de deniers et ainsy qu'il suit, et ont signez

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

MONET

REBUT

S. CHARMOY

JOLY

DES ECURES

GUESDON

Dans la cave

Premierement un quart de voye de bois et environ un boisseau de charbon, prisez L^s
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Dans une petite cuisine au premier estage ayant veue sur la cour

- Item un tournebroche garny de ses roues et cordages, sa broche, leschefritte, pelle, pincette, cremailliere, un soufflet, deux rechaux, un coupret, le tout de fer, prisé dix livres, cy X^{lt}
- Item une petite fontaine de cuivre rouge garnye de son couvercle à robinet, tenant deux seaux ou environ, prisez quinze livres, cy XV^{lt}
- Item deux marmittes, une escumoire, deux casseroles, une chauffrette et un petit poissonnier, le tout de cuivre rouge, prisez ensemble douze livres, cy XII^{lt}
- Item deux chaudrons, deux poislons, une passoire, un friquet, le tout de cuivre jaune, prisez C^s
- Item une petite paire de balance de cuivre jaune, deux couvercles de fer blanc, deux chandeliers, une mouchette^(b) de cuivre jaune, prisez ensemble III^{lt}
- Item en pots, plusieurs autres ustancilles d'estain sonnans, la quantité de cent douze livres, prisez à sa juste valeur et sans crue, à raison de quinze sols six deniers la livre, revenant le tout audit prix à la somme de quatre vingt six livres seize sols, cy III^{xxvi} ^{lt} XVI^s
- Item en autres ustancilles d'estain commun, la quantité de^(c) quinze livres, prisé à raison de douze sols la livre, revenant le tout à neuf livres, cy IX^{lt}
- Item un saloir de bois de chesne fermant avec un cadenas, deux chaises de paille, prisez ensemble cinquante sols, cy L^s
- Item environ six aulnes de tapisserie en deux morceaux coupez en deux, sur un aulne de hauteur, et deux autres morceaux de bergame, prisez ensemble VIII^{lt}
- Item deux poesles à frire et une autre poesle à frire, prisez ensemble trente sols, cy XXX^s
- Item une establie avec un estau, prisez quatre livres, cy III^{lt}
- Item trois thuyaux de fer blanc servant à stor (*sic*), et trois petits globes de bois et carton imparfaits, prisez ensemble quatre livres dix sols, cy III^{lt} X^s
- Item un croc à pandre viande, une poesle à feu, une petite bassinore de cuivre rouge, prisez L^s
- Item neuf tiroirs de gros bois, dans lesquels s'est trouvé plusieurs paquets de fil de fer servant à stor (*sic*), prisez ensemble dix livres, cy X^{lt}

^(b) suivi de *pri<sez>* rayé

^(c) suivi de *cent* rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item un vieil estably avec plusieurs ciseaux et autres outils servant à la mecanique, prisez ensemble trois livres, cy III^{lt}

Item une couchette à bas pilliers garny de son enfonsure, paillasse, deux matelas, un traversin et un morceau de serge verte doublé de toille servant de couverture, prisee seize livres, cy XVI^{lt}

Dans une chambre au premier estage ayant veue sur la rue

Item une grille de fer avec deux petites pinces de cuivre jaune, prisee six livres, cy VI^{lt}

Item une garniture de cheminée de fayance, deux chandeliers à branches et trois figures de plastre, prisez cent sols, cy C^s

Item un bureau de bois de cedre garny de plusieurs tiroirs fermant à clefs, prisé trente deux livres, cy XXXII^{lt}

Item une petite table de bois de noyer couverte de serge verte, prisee quatre livres, cy IIII^{lt}

Item un tricquetrac garny de ses dames, prisez douze livres, cy XII^{lt}

Item un petit miroir de toilette, prisé L^s

Item un tableau representant une femme sortante du bain avec sa bordure de bois doré, et un autre petit tableau representant les instruments de la passion de notre seigneur avec sa bordure de bois doré, un christ de cire composée sur^(d) sa croix de bois, prisez ensemble la somme de vingt deux livres, cy XXII^{lt}

Item une couchette à bas pilliers de bois de noyer garnye de son enfonsure, d'un matelas de laine de futaine, un traversin de coutil remply de plume, deux couvertures de laine blanche, une courtepointe de taffetas picqué cramoisy, l'imperial dudit lit à pantés en dedans et en dehors, rideaux et dossiers de cadis couleur cramoisy, quatre^(e) rideaux de fenestres de pareil cadis, bordez d'un petit galon de soye verte, prisez le tout ensemble cent cinquante livres, cy CL^{lt}

Item neuf chaises et un fauteuil, quatre tabourets de bois de noyer garnis de craint, couverts de moquette noir et couleur de feu, prisez ensemble cent livres, cy C^{lt}

^(d) à la suite et au lieu de *dans rayé*

^(e) à la suite et au lieu de *deux rayé*

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item une tanture de tapisserie verdure d'Auvergne en six pieces, doublée en partye de bandes de toille, contenant environ seize aulnes sur deux aulnes et demy de hault, prisez ensemble deux cent quatre vingt livres, cy II^C IIII^{XX} lt

Dans une autre chambre à costé ayant aussy veue sur la rue S^t Honoré

Item une grille, pelle, pincette et tenaille, le tout de fer, prisez ensemble trois livres dix sols, cy III^{lt} X^s

Item deux^(f) glaces servant aux cheminées des deux chambres avec leurs bordures de bois doré, prisez ensemble cinquante livres, cy L^{lt}

Item une armoire de bois de noyer à deux battans et deux tiroirs en dedans, prisée trente livres, cy XXX^{lt}

Item une pandulle à seconde et minutte dans sa boitte de bois de sapin, prisez ensemble la somme de cinquante livres, cy L^{lt}

Item six chaises de bois de noyer couvertes de serge verte remplies de bourre, prisez ensemble la somme de vingt quatre livres, cy XXIIII^{lt}

Item un petit cabinet avec plusieurs tiroirs, prisez trois livres, cy III^{lt}

Item un bureau de bois d'ollivier garny de quatre grands tiroirs, prisez douze livres, cy XII^{lt}

Item une table de bois de chesne, deux ais atachez à ladite table couverte d'une tapiz vert, et une petite armoire à deux volets aussy attachés à ladite table, un vieil fauteuil, prisez le tout ensemble douze livres, cy XII^{lt}

Item environ huit aulnes de tapisserie d'Elbeuf faisant le tour de ladite chambre, prisez ensemble seize livres, cy XVI^{lt}

Item trois tableaux estampes avec leurs bordures de bois doré, prisez ensemble trois livres, cy III^{lt}

Item vingt verres de termomettres, prisez II^{lt}

Item <un> microscope, un oculaire et une lunette d'aproche, prisez ensemble dix livres, cy X^{lt}

Dans un petit cabinet à costé

^(f) à la suite et au lieu de *une* rayé
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item un pupitre, une vieille table de sapin, une chaise de paille avec un oreiller, un morceau de tapisserie d'Elbeuf, plusieurs verres servant à termomettre, un petit tableau paysage, trois tableaux, prisez ensemble six livres, cy	VI ^{lt}
Item une paire de pistolets, prisez six livres, cy	VI ^{lt}
Item une glace de douze pouces en carré, prisée six livres, cy	VI ^{lt}
Item plusieurs modeles de bois de mecanique et deux tuyaux de fer blanc servant à lunettes d'aproche, dix huit petites boettes dans lesquelles s'est trouvé plusieurs fils d'archal servant à la mecanique, prisez ensemble la somme de quinze livres, cy	XV ^{lt}

Suit le linge

Item six draps de toile demye blanche, prisés ensemble la somme de vingt quatre livres, cy	XXIII ^{lt}
Item six douzaines de serviettes de differentes toilles et grandeurs, prisez ensemble trente six livres, y compris six autres serviettes, cy	XXXVI ^{lt}
Item trois petites nappes de toile blanche, prisées trois livres, cy	III ^{lt}
Item deux douzaines de torchons, prisez	III ^{lt}
Item une douzaine de chemises à usage de femme, prisées vingt livres, cy	XX ^{lt}
Item neuf chemises à usage d'homme, prisez douze livres, cy	XII ^{lt}
Item douze cravattes de toile unie, et douze paires de manchettes de toile unie, prisées ensemble seize livres, cy	XVI ^{lt}
Item un paquet de vieil linge composé de chaussettes, chaussons et mouchoirs de poches, prisez ensemble trente sols, cy	XXX ^s

Ce fait, apres avoir vacqué jusques à six heures sonnées, les meubles cy dessus inventoriez du consentement desdites partyes sont demeurez en la garde et possession dudit sieur Charmoy, qui s'en est chargé comme depositaire pour les représenter toutesfois et quantes, et l'assignation continuée à demain deux heures de relevée, et ont signés

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

MONET

JOLY

S. CHARMOY

REBUT

DES ECURES

GUESDON

Du lendemain quinziesme jour desdits mois de decembre et an mil sept cent cinq deux heures de relevée, à la requeste et presence que dessus, a esté par lesdits notaires continuée (*sic*) le present inventaire ainsy qu'il suit.

Item deux morceaux de tapisserie de dessus de chaises imparfaite, prisez huit livres,
cy VIII^{lt}

Suivent les habits

Item un manteau de satin rayé rouge et blanc avec sa juppe de mesme doublé de taffetas vert,
prisez ensemble trente six livres, cy XXXVI^{lt}

Item un manteau et une juppe de toile rayée de plusieurs couleurs, prisez quinze livres, cy
XV^{lt}

Item une robe de chambre de taffetas jaune à fleurs meslées doublée de taffetas blanc, prisez
vingt quatre livres, cy XXIII^{lt}

Item un manteau^(g), juppe et jupon de ras de S^t Maur noir, prisé quarente livres, cy XL^{lt}

Item une vieille robe de chambre de satin sur coton rayé doublée de taffetas rouge, prisee
douze livres, cy XII^{lt}

Item un justaucorps et veste de drap musc doublé de chagrin garnis de boutons d'or fillé et^(h)
deux cullottes de pareil drap, prisez ensemble soixante livres, cy LX^{lt}

Item un justaucorps de drap gris doublé de toile d'ortye, une veste de pareille toile garnye
de petits⁽ⁱ⁾ boutons d'argent fillé, et une cullotte de pareil drap, prisez quinze livres, cy
XV^{lt}

Item un justaucorps de gros drap brun^(j), une veste de drap ecarlatte garnye de petits boutons
d'or fillé, et une cullotte de drap de mesme l'habit, prisez ensemble quinze livres, cy
XV^{lt}

Item deux manteaux de drap de mosnier teint en ecarlatte, prisez trente six livres,
cy XXXVI^{lt}

Item trois vieilles perruques, deux chapeaux de laisne, deux paires de bas de soye, l'une
meslée et l'autre noire, prisez vingt livres, cy XX^{lt}

^(g) *un manteau* par correction et surcharge partielle de *deux manteaux*

^(h) suivi d'un mot rayé non lu

⁽ⁱ⁾ *petits* à la suite de *parei*< / > rayé

^(j) à la suite et au lieu de *bla*< *nc* > rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item quatre garnitures de différentes dantelles et autres menues linges à usage de femme,
prisez ensemble cinquante livres, cy L^{lt}

Suit l'argenterie

Item douze cuillères et douze fourchettes à quatre fourches, six cuillères à café et une
escuelle, le tout d'argent poinçon de Paris, pesant ensemble huit marcs et demy, prisé le
marc à sa juste valeur suivant l'ordonnance à trente deux livres dix sols le marc,
revenant le tout audit prix à la somme de deux cent soixante seize livres cinq sols, cy
II^CLXXVI^{lt}V^s

Item un huillier, quatre gobelets, deux sallières et un sucrier, le tout d'argent monté poinçon
de Paris, pesant ensemble six marcs six onces, prisé à sa juste valeur suivant ladite
ordonnance, revenant le tout audit prix à^(k)

Item une petite bague d'or enchassée d'un petit brillant et deux petits diamants aux deux
costez, prisez ensemble trente livres, cy XXX^{lt}

Suivent les livres qui ont été prisez par ledit Monet huissier, de l'avis du sieur
Gabriel Martin, marchand libraire à Paris, y demeurant rue S^t Jean paroisse S^t Severin où est
pour enseigne L'etoille, à ce^(l) present apres serment par luy fait es mains desdits notaires de
donner son avis en conscience, lesquels^(m) livres ont été prisez à leur juste valeur et sans
crue, et ont signés

G. MARTIN

MONET

Premierement six volumes in folio, dont Forces mouvantes de Salomon de Caus, dix livres,
cy X^{lt}

Item trois volumes in folio, dont Kirkeri Ars magna lucis et umbræ, prisez quatre livres, cy
III^{lt}

Item six volumes in folio, dont Coutume de Basnage, prisez dix livres, cy X^{lt}

Item trois volumes in folio, dont Machine del Ramelli, prisez trois livres, cy III^{lt}

Item six volumes in folio, dont Moreri dernière édition, prisé quarente livres, cy XL^{lt}

^(k) estimation laissée en blanc

^(l) à ce à la suite et au lieu de cy rayé

^(m) à la suite et au lieu de laquelle rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item six volumes in folio, dont Hevelii machina cœlestis, prisez quatre livres dix sols, cy	III ^{lt} X ^s
Item sept volumes in folio, dont l'Art de charpenterie, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item cinq volumes in folio, dont Œuvres de Grenade, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item cinq volumes in folio, dont Furetiere derniere edition d'Holande, prisez trente livres, cy	XXX ^{lt}
Item dix volumes in folio, dont Philosophia ms. (<i>sic</i>), prisez trois livres, cy	III ^{lt}
Item dix volumes in quarto, dont Meditation (<i>sic</i>) de Descartes, prisez cinq livres, cy	V ^{lt}
Item douze volumes in quarto, dont Calendrier de Blondel, prisez huit livres, cy	VIII ^{lt}
Item neuf volumes in quarto, dont Histoire de l'Academie des sciences, prisez vingt cinq livres, cy	XXV ^{lt}
Item huit volumes in quarto, dont Methode (<i>sic</i>) de Descartes, prisez neuf livres, cy	IX ^{lt}
Item sept volumes in quarto, dont Borellus de motu animalium, prisez six livres, cy	VI ^{lt}
Item douze volumes, dont Architecture de Daviler, in quarto, prisez huit livres, cy	VIII ^{lt}
Item sept volumes in quarto, dont Journaux des savans, prisez quinze livres, cy	XV ^{lt}
Item sept volumes in quarto, dont Sciences (<i>sic</i>) des notaires, prisez dix livres, cy	X ^{lt}
Item six volumes in quarto, dont Dictionnaire de Danet, prisez quinze livres, cy	XV ^{lt}
Item huit volumes in quarto, dont Tables astronomiques de Pagan, prisez trois livres, cy	III ^{lt}
Item onze volumes in quarto, dont Histoire de l'imprimerie, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item neuf volumes in quarto, dont Memoires d'artillerie, prisez huit livres, cy	VIII ^{lt}
Item vingt cinq volumes, dont Algebre de Viette, prisez une livres (<i>sic</i>) dix sols, cy	XXX ^s
Item dix huit volumes, dont Recherches de physique, prisez cinq livres, cy	V ^{lt}
Item neuf volumes, dont Aristotelis opera, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item onze volumes, dont Confession coupée, prisez trois livres, cy	III ^{lt}
Item quinze volumes, dont les Marguerittes françoises, prisez une livre dix sols, cy	I ^{lt} X ^s
Item onze volumes, dont Chymie de Lemery, prisez dix livres, cy	X ^{lt}
Item seize volumes, dont Vie de Calvin, prisez une livre dix sols, cy	XXX ^s
Item treize volumes, dont Nouveau testament de Quesnel, prisé dix livres, cy	X ^{lt}
Item vingt quatre volumes, dont Maximes de pratique, prisez une livre dix sols, cy	XXX ^s
Item douze volumes, dont Philosophie de Gassendi, prisés six livres, cy	VI ^{lt}
Item treize volumes, dont Metamorphoses naturels (<i>sic</i>) de Godart, prisez neuf livres, cy	IX ^{lt}
Item treize volumes, dont Retraite spirituelle, prisez huit livres, cy	VIII ^{lt}
Item vingt huit volumes, dont Journaux de Trevoux, prisez vingt cinq livres, cy	XXV ^{lt}

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item vingt six volumes, dont Quadrature du cercle, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item unze volumes, dont Catechisme de Meaux, prisez deux livres, cy	II ^{lt}
Item unze volumes, dont Histoire de la bible, prisez six livres, cy	VI ^{lt}
Item quinze volumes, dont Menagiana, prisez quatre livres, cy	III ^{lt}
Item quatorze volumes, dont Description de Versailles, prisez neuf livres, cy	IX ^{lt}
Item neuf volumes, dont Receuil (<i>sic</i>) d'opera, prisez cinq livres, cy	V ^{lt}
Item unze volumes, dont La cour sainte, prisez six livres dix sols, cy	VI ^{lt} X ^s
Item douze volumes, dont Cardan de la Subtilité, prisez trois livres, cy	III ^{lt}
Item vingt sept volumes, dont plusieurs Connoissances des temps, prisez vingt cinq sols, cy	I ^{lt} V ^s
Item douze volumes, dont Architecture de Savot, prisez cinq livres, cy	V ^{lt}
Item dix volumes, dont Œuvres de Boileau, prisez sept livres, cy	VII ^{lt}
Item douze volumes, dont La Bruyere, prisez huit livres, cy	VIII ^{lt}
Item vingt neuf volumes, dont Coutume de Paris, prisez trois livres, cy	III ^{lt}
Item vingt six volumes de l'Histoire des ouvrages des savans, prisez vingt six livres, cy	XXVI ^{lt}
Item treize volumes de Republique des lettres (<i>sic</i>), prisez treize livres, cy	XIII ^{lt}

Et ont ledit s^r Martin et ledit Monet signé en cet endroit

G. MARTIN

MONET

Item cent jetons d'argent pesant deux marcs cinq onces et demy, prisé à raison de vingt deux livres dix sols le marc, revenant le tout audit prix à la somme de⁽ⁿ⁾

Item deux flambeaux, une mouchette avec son porte mouchette de cuivre argenté, prisez ensemble la somme de huit livres, cy VIII^{lt}

Et a ledit Monet huissier <signé> en cet endroit la presente prisee.

MONET.

Ayant esté vacqué à ce que dessus jusques à six heures sonnées, les meubles et choses cy dessus inventoriées du consentement desdites partyes esdits noms sont demeurées en la garde et possession dudit sieur Charmoy, qui s'en est chargé comme depositaire pour les

⁽ⁿ⁾ estimation laissée en blanc

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

representer toutesfois et quantes, et l'assignation continuée à jeudy prochain dix sept du present mois huit heures du matin^(o), et ont signé

REBUT

S. CHARMOY

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

JOLY

DES ECURES

GUESDON

Dudit jour jeudy dix sept desdits mois de decembre et an mil sept cent cinq, huit heures du matin, a esté par lesdits notaires continué le present inventaire à la requeste et presence que dessus, ainsy qu'il suit.

Item s'est trouvé en deniers comptant sept escus et demy à raison de trois livres dix sept sols

l'escu, revenant audit prix à vingt six livres dix sept sols, cy XXVI^{lt} XVII^s

Item une epée à poignée d'argent, prisée avec une autre petite epée de deuil huit livres, cy VIII^{lt}

Suivent les papiers

Premierement l'expedition en parchemin du contrat de mariage d'entre ledit deffunt sieur Guillaume Amontons et ladite damoiselle Marie Margueritte Charmoy, à present sa veuve, passé devant Guyot et Bru, l'un des notaires soussignez (*sic*), le dix huitiesme avril mil sept cent deux, par lequel il a été stipulé qu'ils seroient communs en biens suivant la coutume de Paris, qu'ils ne seroient tenus des debtes et hypotecques l'un de l'autre créées avant leur mariage, se sont pris aux biens et droits à eux appartenant, ceux de ladite damoiselle lors future épouse concistant en la somme de six mil livres que le sieur Charmoy et sa femme, ses pere et mere, luy auroient constitué en dot en avancement d'hoirie de leurs futures successions, sçavoir deux mil quatre cent livres en meubles, linge, hardes et ustancilles de mesnage de pareille valeur, que lesdits s^r Charmoy et sa femme leur auroient fournis ainsy que lesdits lors futurs époux l'auroient reconnu, et trois mil six cent livres à quoy ont esté évaluées entre les parties trois années de nouritures et logemens desdits lors futurs époux et d'un valet que lesdits Charmoy et sa femme se seroient obligez de leur fournir et audit valet, et pour leur logement en leur

^(o) à la suite et au lieu de *relevée rayé*
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

maison, desquels six mil livres le tiers entrera en communauté, et les deux autres tiers demeureront propres à ladite damoiselle future épouse et aux siens de son costé et ligne ; ledit deffunt sieur Amontons avoit doué ladite damoiselle lors future épouse de la somme de cinq cent livres de rente de douaire prefix au cas qu'il y ait enfans vivans dudit mariage lors du deceds dudit futur époux, ausquels enfans ledit douaire seroit propre ; que le preciput accordé au survivant desdits lors futurs époux prendroit par preciput (*sic*) en deniers ou meubles de leur communauté tels qu'il voudroit choisir suivant la prisée de l'inventaire et sans crue la somme de douze cent livres au choix du survivant ; le remploy des propres a esté stipulé à l'ordinaire ; qu'il seroit permis à la future épouse et à ses enfans qui naistroient dudit mariage de renoncer à ladite communauté et de faire les reprises accoutumées, mesme la future épouse survivante ses douaire et preciput susdits, sans estre tenus des debtes de ladite communauté, dont ils seroient acquittés par les heritiers et sur les biens dudit futur époux ; pour raison de quoy et des autres conditions du present contrat il y aura hypotecque sur lesdits biens du jour dudit contrat de mariage et aux autres clauses et conditions y portées, ledit contrat insinué au chastelet de Paris le douziesme avril mil sept cent trois ; en marge duquel contrat de mariage est une quittance passée devant lesdits^(p) Guyot et Bru, notaires à Paris, le vingt un juin mil sept cent cinq, par laquelle ledit deffunt sieur Amontons et ladite damoiselle à present sa veuve ont reconnu que lesdits sieur Charmoy et sa femme leur ont au desir dudit contrat de mariage fourny les trois années de nouritures y mentionnées évaluées à trois mil six cent livres ; inventorié sur ledit contrat Un.

Item deux grosses en parchemin de contrats de constitution passez par Messieurs les prevost des marchands et eschevins de cette ville, l'un de cent livres de rente au principal de deux mil livres hereditaire, et l'autre de pareille cent livres de rente viagère à prendre dans le million de livres de rente aliené par sa majesté sur les aydes et gabelles et cinq grosses fermes par edit du mois de decembre mil sept cents quatre, ainsi qu'il est porté auxdits contrats, faites au profit dudit s^r Amontons, passez l'un comme l'autre pardevant Des Escures et Guesdon^(q), l'un (*sic*) des notaires soussignez, le treizieme aoust mil sept cents cinq ; inventoriez l'un comme l'autre par ledit Guesdon nottaire Deux.

Item deux pieces. La premiere est la grosse en parchemin d'un partage passé devant Lauvon et Mauduit, nottaires à Rouen, le vingt huit octobre mil sept cents un, entre ledit deffunt

^(p) *lesdits* répété par erreur

^(q) suivi de trois ou quatre mots rayés non lus

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

sieur Guillaume Amontons^(r), ledit M^e David Amontons prestre curé de Fresne et le sieur Martin Amontons marchand à Rouen, tous heritiers aux propres maternels, acquests et meubles de feu sieur Jacques de La Hayes, leur cousin issu de germain, des biens de la succession dudit sieur de La Hayes, par lequel partage lesdites partyes ont consenti que ledit sieur Guillaume Amontons eust pour sa part en ladite succession une maison sise en la ville de Rouen rue des Savetiers paroisse de S^t Amant ; item la moitié d'une maison scise rue Escuyere paroisse de S^t Michel ; item une ferme scituée à Tietreville amo du Busc (*sic*) pres Valmont en Caux ; item cinq acres de terre scises à Gremonville ; item une partie de cinquante livres de rente au principal de neuf cens livres sur les sieurs Robert de Caux et Pierre de Rouve (*sic*), conseiller au baillage ; item sur Paul Toustain cinquante cinq livres de rente au principal de neuf cens livres ; item cinquante livres de rente au principal de sept cents livres sur M^e Houlette^(s), procureur au parlement ; item sur les heritiers Jacques Mulot, trente trois livres six sols huit deniers de rente au principal de six cents livres ; item sur les heritiers de Michel Colle et Semelaigne (*sic*) vingt livres de rente au principal de quatre cents livres ; item cent livres de rente au principal de dix huit cents livres sur Nicolas Druel sieur de Franqueville ; item sur Michel Briant trente livres de rente au principal de cinq cents quarente livres ; item une partie de soixante quatre livres de rente au principal de mil cinquante livres sur Antoine Le Quesne sieur du Fresnay ; item sur Georges Bomile (*sic*) cinquante livres de rente au principal de neuf cents livres ; item sur le sieur Duclos et Magdeleine Carré quarente deux livres de rente au principal de sept cents^(t) cinquante six livres sept sols six deniers ; item cinquante livres de rente au principal de neuf cents livres sur les heritiers de Pierre Canu ; item sur Jacques Pinel vingt une livre (*sic*) huit sols six deniers de rente au principal de trois cents livres ; item sur Noel Lambert et Simon Dumoustier trente trois livres six sols huit deniers de rente au principal de six cents livres ; item quarente quatre livres huit sols dix deniers de rente au principal de huit cents livres sur Marie Goubert, veuve de François Le Canu ; item sur les heritiers Deudemare^(u) cent cinq livres onze sols un denier de rente au principal de dix neuf cents livres ; item sur Nicolas Bazire trente huit livres dix sept sols neuf deniers de rente au principal de sept cents livres ; item sur le sieur Jean Le Tellier soixante une livre dix sept

^(r) suivi de M^e rayé

^(s) le prénom a été laissé en blanc

^(t) à la suite et au lieu de *cinq<uante>* rayé

^(u) à la suite et au lieu de *deux* rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

sols six deniers de rente au principal de douze cents trente sept livres dix sols ; item quatre cents livres de rente au principal de huit mil huit cents livres à prendre sur Messieurs du clergé du diocese de Rouen ; item sur Françoise Hellot, veuve de Georges Bazire, vingt cinq livres de rente au principal de quatre cents cinquante livres ; item sur les sieurs Hyerosme Buin, Pierre Patriarche et Pierre Edelin, cent quatre vingt quatorze livres deux sols de rente au principal de trois mil huit cents quatre vingt deux livres, ainsi qu'il est porté audit partage. Et la deuxiesme piece est une sentence de la vicomé de Rouen du neuf decembre mil sept cents, qui a envoyé lesdits sieurs Amontons en possession et jouissance du propre maternel, acquests et meubles dudit deffunt Jacques de La Hayes. Lesdites deux pieces inventoriées l'une comme l'autre Trois.

Item la grosse en parchemin d'un titre nouvel passé devant lesdits Guyot et Bru, nottaires, le onzieme juin mil sept cents quatre, par M^{te} Adrien Cavellier, chevallier, seigneur de Villequiers, es noms, au profit dudit deffunt sieur Amontons, de soixante six sols et deux chapons de rente expliquée audit titre nouvel, aveq laquelle grosse se sont trouvées dix sept pieces qui sont les anciens titres de propriété de ladite rente, cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre Quatre.

Item une liasse de neuf pieces. La premiere est la grosse en parchemin d'un contrat de vente passé devant Helie (*sic*) et Crosnier, nottaires à Rouen, le vingt sixieme aoust mil six cents cinquante, par Monsieur M^e Berthelemy (*sic*) Brisse, conseiller au parlement de Normandie, à Cristofe de Lahayes, marchand mercier bourgeois de Rouen, d'une maison scise en la paroisse S^t Michel de Rouen rue Escuyere, moyennant la somme de deux mil sept cents livres. La deuxieme est l'expedition en parchemin d'une quittance passée devant lesdits Helie et Crosnier nottaires à Rouen le vingt sept novembre mil six cents cinquante deux, par laquelle ledit sieur Brisse a recogneu avoir receu dudit Cristofe de Lahayes le raquit et franchises du principal et arrerages de cent vingt une livre (*sic*) huit sols six deniers de rente qu'il devoit pour reste du prix de ladite maison. Et les autres pieces sont quittances d'ouvriers pour reparations faites en ladite maison, quittances d'arrerages de rente deue à l'eglise de S^t Michel dudit Rouen, dont la derniere du trente mars mil sept cents cinq de la somme de soixante dix livres pour une année escheue au mois de juillet lors dernier. Lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre Cinq.

Item une liasse de dix pieces, qui sont anciens titres de propriété de cinq acres de terres ou environ scises sur les paroisse d'Ymeriq (*sic*) et de Gremonville escheues audit s^r

Amontons par le partage cy dessus inventorié, que les partyes n'ont désiré estre
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

autrement enoncées, mais seulement ont esté cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre Six.

Item une liasse de quarente pieces, qui sont anciens titres de propriété d'une maison scise en ladite ville de Rouen rue des Savetiers, anciens baux d'icelle, devis et ouvrages faits en ladite maison, le tout que les partyes n'ont désiré estre plus au long enoncées, mais seulement ont esté cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre Sept.

Item une autre liasse de cinquante et une pieces, qui sont titres de propriété, anciens baux de la ferme et heritage scise à Tietreville et dependances, anciennes declarations passées de ladite ferme par les propriétaires d'icelle au duché des Toutenelles, la derniere passée par ledit deffunt Jacques de La Haye le vingt huit novembre mil six cents quatre vingt seize, quittances des charges et rentes seigneurialles deues par ladite ferme, entre lesquelles pieces est un comte fait sous seing privé le seize novembre mil sept cents un entre ledit deffunt sieur Guillaume Amontons et Jean Langlois, fermier de ladite ferme de Tietreville, des fermages de ladite ferme, par lequel comte ledit Langlois est demeuré redevable de la somme de deux cents soixante douze livres cinq sols six deniers, toutes lesquelles pieces les partyes n'ont désiré estre plus au long enoncées, mais seulement ont esté cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites premiere et derniere pour le tout Huit.

Ayant esté vacqué jusques à midy sonné, les papiers cy dessus inventoriez, du consentement desdites partyes, sont demeurez en la garde et possession dudit s^r Charmoy, qui s'en est chargé pour les représenter toutesfois et quantes qu'il appartiendra comme depositaire, et l'assignation continuée à demain deux heures de relevée, et ont lesdites partyes signé avec lesdits notaires soussignez

REBUT

S. CHARMOY

JOLY

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

DES ECURES

GUESDON

Du lendemain dix huit desdits mois de decembre et an mil sept cents cinq deux heures de relevée, continuant par lesdits notaires le present inventaire à la requeste et presence que dessus, a esté inventorié ce qui suit.

Item la grosse en parchemin d'un contrat de constitution passé par Messieurs les prevost des marchands et eschevins de cette ville, au profit dudit feu sieur Amontons, pardevant des Escures et Guesdon, l'un (*sic*) des nottaires soussignez, le quinze septembre dernier, de quinze livres de rente au principal de trois cents livres à prendre dans les cent mil livres de rente aliénées par sa majesté par edit du mois de juillet mil sept cents quatre portant établissement d'une lotterie royalle ; inventorié par ledit Guesdon nottaire Neuf.

Item les grosses en parchemin de deux contrats de constitution passez en mesme jour quatre mars mil six cents quatre vingt dix huit, l'un pardevant Cavé et Sanadon, nottaires à Rouen, et l'autre pardevant ledit Cavé et Coignart (*sic*), aussi nottaires à Rouen, par Messieurs les sindic et deputez du diocese de Rouen, pour et au nom du clergé dudit dioceze au profit dudit deffunt sieur Jacques de La Hayes, de deux cents livres de rente, chaque contrat au principal de quatre mil quatre cents livres, qui est pour les deux quatre cents livres de rente au principal de huit mil huit cents livres, payées comtant par lesdits contrats pour employer à l'effet y porté ; lesdits contrats inventoriez l'un comme l'autre Dix.

Item la grosse en parchemin de trois promesses de constitution passées au profit dudit deffunt sieur Jacques de La Hayes, signées l'une comme l'autre Buyn et Patriarche et Adelain, l'une du vingt trois juin mil six cents quatre vingt dix neuf de cent livres de rente au principal de deux mil livres, la deuxieme du vingt neuf decembre mil six cents quatre vingt dix neuf de soixante livres de rente au principal de douze cents livres, et la troisieme du trente mars mil sept cents de trente quatre livres deux sols de rente au principal de six cents quatre vingt deux livres^(v), lesdites promesses recogneues par acte passé pardevant Lauvon et ledit Sanadon, nottaires à Rouen, le dix huit janvier mil sept cents un, à la minutte duquel lesdites promesses sont annexées par les s^{rs} Hyerome Buyn, Pierre Patriarche et Pierre Adelain, marchands bourgeois de Rouen, au profit desdits sieurs Guillaume, David et Martin Amontons, seuls heritiers dudit sieur de La Hayes, en marge duquel acte est un escrit datté à Rouen du deux decembre mil sept cents un signé Amontons et D. Amontons, par lequel les soussignez dechargent le sieur Martin Amontons de la somme de deux cents quarente sept livres dix sept sols six deniers receue par ledit sieur Martin Amontons par ledit acte et dont il leur a tenu comte ; inventorié par ledit Guesdon nottaire Unze.

^(v) suivi de *aveq rayé*

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Item la grosse en parchemin d'un contrat de constitution passé devant Cavé et Liot, nottaires audit Rouen, le seize may mil six cents soixante onze, par M^e Robert de Caux, avocat en la cour de parlement de Rouen, et M^e Pierre de Rouvre, avocat en ladite cour, de cinquante livres de rente au principal de neuf cents livres ; inventorié Douze.

Item la grosse en parchemin d'un contrat de constitution passé pardevant Mauduit et Le Marchand, nottaires audit Rouen, le vingt deux fevrier mil six cents quatre vingt dix huit, par le sieur Jean Le Tellier, marchand à Rouen, tant en son nom que se faisant fort des sieurs François et Bonnaventure Le Tellier, ses freres emancipez d'age, par lesquels il a promis faire ratifier ledit contrat, au profit dudit sieur Jacques de La Hayes, de soixante une livre (*sic*) dix sept sols six deniers de rente au principal de douze cents trente sept livres dix sols pour employer à l'effet porté audit contrat, aveq lequel se sont trouvées quatre pieces justifiant l'employ dudit principal ; cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur ledit contrat de constitution pour le tout Treize.

Item la grosse en parchemin d'un contrat de constitution passé devant Mauduit et Borel, nottaires audit Rouen, le vingt huit decembre mil six cents quatre vingt dix sept, par Nicolas Bazire, marchand demeurant en la paroisse de Nostre Dame de Sotteville les Rouen, au profit dudit sieur de La Hayes, de trente huit livres dix sept sols neuf deniers de rente au principal de sept cents livres, payées comtant pour employer à l'effet porté audit contrat ; aveq lequel se sont trouvées trois pieces, qui sont diligences faites pour avoir payement des arrerages de ladite rente ; cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur ledit contrat pour le tout Quatorze.

Item la grosse d'un autre contrat de constitution passé devant Coignart (*sic*) et Le Moyne (*sic*), nottaires audit Rouen, le deux juin mil six cents quatre vingt dix huit, par François (*sic*) Hellot, veuve de Georges Bazire, maistre plastrier à Rouen, au profit dudit sieur Jacques de La Hayes, de vingt cinq livres de rente au principal de quatre cents cinquante livres pour employer à l'effet porté audit contrat ; aveq lequel se sont trouvées six pieces, qui sont diligences faites au sujet de ladite rente ; lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur ledit contrat pour le tout Quinze.

Item la grosse en parchemin d'un contrat passé devant Bourse et Heliot (*sic*), nottaires audit Rouen, le trois septembre mil six cents quatre vingt, par lequel M^e Pierre Lomel, avocat en la cour, a fait remise à Jacques Mulot, demeurant en la paroisse de Nostre Dame de Sotteville, des heritages y mentionnés, moyennant la somme de six cents livres de principal et pour le treizieme, frais et loyaux cousts et fermages dudit heritage la somme de cent trente trois livres payées comtant, dans lesquels deniers ledit Mulot a déclaré

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

estre entrée la somme de six cents livres provenante de Marie Amontons, veuve de Cristofe de La Hayes, pour laquelle ledit Mulot luy a constitué trente trois livres six sols huit deniers de rente, auquel contrat ont esté presents Jean Mulot, tailleur de pierre, et Georges Bazire, maistre plastrier, demeurans en ladite paroisse de Sotteville, qui se sont sollidairement rendus cautions de ladite rente ; aveq lequel contrat se sont trouvées dix sept pieces, qui sont les anciens titres de propriété desdits heritages retirez et diligences faites au sujet de ladite rente ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur ledit contrat de constitution pour le tout Seize.

Item la grosse en parchemin d'un transport passé devant Cavé et Liot, nottaires audit Rouen, le vingt quatre novembre mil six cents soixante et quatorze, par Simon Jean, bourgeois de Rouen, et Anne Hellot, sa femme, à Marie Amontons, veuve de Cristofe de La Hayes, de cinquante livres de rente au denier quatorze à prendre sur Anne Le Sonneur, veuve de Jean Damame, maistre chirurgien juré à Rouen, ledit transport fait moyennant la somme de sept cents livres payées comtant, auquel transport est intervenu le sieur Guillaume de La Hayes, marchand à Rouen, lequel s'est obligé à la garentie dudit transport ; aveq lequel s'est trouvée la promesse de constitution de ladite Anne Le Sonneur, veuve dudit Damame, en datte du premier aoust mil six cents soixante deux, recogneue aux Requestes du palais à Rouen et controlée audit Rouen le troisieme desdits mois et an, et autres titres concernants ladite rente ; toutes lesdites pieces au nombre de six pieces, cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur ledit transport pour le tout Dix sept.

Item la grosse en parchemin d'un transport passé devant Liesse et Gruchet, nottaires à Rouen, le dix mars mil six cents quatre vingt deux, par Gilles Semelaigne (*sic*), huissier en l'eslection de Rouen, à ladite Marie Amontons, veuve de Cristofe de La Hayes, de vingt huit livres onze sols quatre deniers de rente au denier quatorze, constituée par Michel Calle, laboureur demeurant en la paroisse d'Escaclon (*sic*), au profit de François de Civile, ainsi qu'il est porté audit transport, aveq lequel se sont trouvées trois pieces signées l'une comme l'autre Semelaigne concernants ladite rente, l'une desquelles dattée du seize septembre mil six cents quatre vingt deux, par laquelle le soussigné a recogneue que Madame de La Hayes luy^(w) a mis es mains le contrat de la partie de rente de vingt huit livres unze^(x) sols quatre deniers y mentionnée aveq le transport enoncé audit escrit ;

^(w) à la suite de *luy* rayé (*sic*)

^(x) mot raturé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre^(y) Dix huit.

Item une liasse de onze pieces, entre lesquelles sont deux grosses de contrats de constitution, le premier passé devant Bource (*sic*) et Ducy, nottaires audit Rouen, le dix neuf septembre mil six cents soixante dix neuf, par le sieur Pierre Le Canu, marchand bourgeois de Rouen, au profit de Marie Amontons, veuve du sieur Cristofe de La Hayes, marchand audit Rouen, de cinquante livres de rente au principal de neuf cents livres pour employer à l'effet y porté, et l'autre passé devant Valtier et Le Sançois, nottaires audit Rouen, le dix neuf fevrier mil six cents quatre vingt quatorze, par Marie Goubert, veuve de François Canu, marchand, au profit dudit deffunt sieur Jacques de La Hayes, de quarente quatre livres huit sols huit deniers de rente au principal de huit cents livres, auquel contrat sont intervenus Pierre Canu et Charle Canu qui se sont rendus cautions du principal et arrerages de ladite rente et se sont recogneus debiteurs de ladite partie de cinquante livres de rente constituée par ledit contrat du dix neuf septembre mil six cents soixante et dix neuf ; et les autres pieces sont diligences faites au sujet de ladite rente et autres pieces concernant icelle ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdits deux contrats Dix neuf.

Item la grosse en parchemin d'un contrat de constitution passée devant Lauvon et Le Sançois, nottaires à Rouen, le vingt may mil six cents soixante et quinze, par Georges Bomille, marchand vinaigrier à Rouen, à ladite deffunte (*sic*) Marie Amontons, veuve dudit Cristofe de La Hayes, de cinquante livres de rente au principal de neuf cents livres ; aveq lequel contrat se sont trouvées vingt trois pieces, qui sont diligences et procedures faites au sujet de ladite rente, entre lesquelles est un comte fait des arrerages d'icelle sous seing privé le vingt sept novembre mil sept cents trois, par lequel il paroît qu'il restoit deub audit feu s^r Amontons des arrerages de ladite rente jusques au neuf dudit mois de novembre mil sept cents trois la somme de cent trente livres sept sols ; lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites premiere et derniere pour le tout Vingt.

Item quatre pieces, la derniere desquelles est la grosse en parchemin d'un transport passé pardevant Maurice et Bonel (*sic*), nottaires à Rouen, le dernier fevrier mil six cents soixante et treize par Nicolas Toustain sieur de la Richerie à ladite Marie Amontons, veuve dudit sieur Cristofe de La Hayes, de cinquante cinq livres de rente au denier dix

^(y) suivi de *Dix huit rayé* (*sic*)
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

huit à prendre sur le sieur Paul Toustain, son frere, qui en est debiteur pour les causes portées audit contrat^(z), et les autres pieces sont les titres de propriété de ladite rente ; lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées l'une comme l'autre

Vingt et un.

Ayant esté vaqué jusques à six heures sonnées, les papiers ci dessus inventoriez, du consentement desdites partyes esdits noms, sont demeurez en la garde et possession dudit sieur Charmoy, qui s'en est volontairement chargé comme depositaire pour les représenter toutes fois et quantes, et l'assignation continuée à demain^(aa) huit heures du matin, et ont signé

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

REBUT

S. CHARMOY

JOLY

DES ECURES^(bb)

GUESDON

Du lendemain dix neuf desdits mois de decembre et an que dessus huit heures du matin, continuant par lesdits nottaires la confection du present inventaire à la requeste et presence que dessus, a esté procedé comme il suit.

Item une liasse de vingt deux pieces, entre lesquelles sont trois grosses de contrats. La premiere est une constitution passée pardevant Cavé et Bonnel, nottaires à Rouen, le vingt sept decembre mil six cents soixante neuf, par Magdeleine Carré, veuve de Michel Breant (*sic*), marchand à Rouen, à Genevieve Quesnel, veuve de Robert Bonnet, marchand drapier, de trente livres de rente au principal de cinq cents quarente livres ; la seconde est un transport passé devant Crosnier et ledit Bonnel, nottaires à Rouen, le vingt may mil six cents soixante dix, par ladite Genevieve Quesnel veuve Robert Bonnet à ladite Marie Amontons, veuve de Cristofe de La Hayes, desdits (*sic*) trente livres de rente constituée par ledit contrat du vingt sept decembre mil six cents soixante neuf ; et la troisieme est une constitution passée devant lesdits Crosnier et Bonnel, nottaires audit Rouen, le douze may mil six cents soixante et seize, par Magdeleine Carré, epouse civilement separée d'aveq M^e Estienne du Clos, procureur au baillage de Rouen, à ladite Marie Amontons, veuve dudit de La Hayes, de quarente deux livres de rente au principal

^(z) à la suite et au lieu de *partage rayé*

^(aa) à *demain* par surcharge d'un ou deux mots non lus

^(bb) signature précédée de *Item une liasse rayé*

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

de sept cents cinquante six livres, auquel contrat estoit present ledit Estienne du Clos, mari de ladite Magdeleine Carré, qui s'est rendu caution de ladite rente en principal et arrerages ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites trois grosses pour le tout Vingt deux.

Item une liasse^(cc) de trente sept pieces, entre lesquelles sont deux grosses de contrats ; l'un est une constitution passée devant Cavé et Liot^(dd), nottaires audit Rouen, le neufiesme aoust mil six cents soixante douze, par Jacques Caillet, escuyer sieur de Sommery, au profit de ladite Marie Amontons, veuve Cristofe de La Hayes, de soixante et quinze livres de rente faisant partie de cent cinquante livres à prendre sur Antoine Le Quesne sieur du Fresnay moyennant la somme de mil cinquante livres ; et l'autre est un transport passé devant Bource et ledit Liot, nottaires à Rouen, par Pierre Tirel, garde du pont de bois de Rouen, à ladite Marie Amontons veuve de La Hayes, de vingt et une livre (*sic*) huit sols six deniers de rente à prendre sur Jacques Pinel, ledit transport fait moyennant la somme de trois cents livres payées comtant ; et les autres pieces sont anciens titres desdites rentes, sentences, subrogation, pieces et procedures concernant lesdites rentes ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdits deux contrats pour le tout Vingt trois.

Item un comte fait entre ledit feu sieur Guillaume Amontons et lesdits sieurs David et Martin Amontons, des meubles de la succession dudit sieur Jacques de La Hayes et par eux arrêté sous leurs seings privez le deux decembre mil sept cents un, escrit en cinq rolles de papier ; inventorié Vingt quatre.

Item une liasse de quarente pieces, entre lesquelles se sont trouvées deux grosses ; l'une <est> un contrat de constitution passé devant Cavé et Le Vidrel (*sic*), nottaires audit Rouen, le vingt quatre may mil six cents quatre vingt quatorze, par Margueritte du Marais, veuve du sieur Jacques Deudemare, bourgeois de Rouen, ayeule et tutrice principale des enfans mineurs de feu M^e Pierre Costile, au profit du sieur Jean Baptiste Asselin, de cent cinq livres onze sols un denier de rente au principal de dix neuf cents livres, payées comtant pour employer à l'effet porté audit contrat ; et l'autre est un acte passé devant Le Moyne (*sic*) et Mauduit, nottaires audit Rouen, le dix novembre mil sept cents un, par lequel ledit sieur Jean Baptiste Asselin a recogneu avoir escrit un acte par lequel il a recogneu que ladite rente appartenoit audit sieur Jacques de La Hayes, auquel

^(cc) suivi de *entre rayé*

^(dd) à la suite d'un ou deux mots rayés non lus (peut-être *Helie not<taires>*)

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

il ne faisoit que prester son nom, à la minutte duquel acte ledit escrit sous seing privé en datte du vingt quatre may mil six cents quatre vingt quatorze est annexé ; et les autres pieces sont celles fournies pour l'employ stipulé audit contrat de constitution ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites deux grosses pour le tout

Vingt cinq.

Item une liasse de trente cinq pieces, entre lesquelles est l'inventaire fait des biens et apres le deceds dudit deffunt Jacques de La Hayes par Le Vidrel (*sic*) et Mauduit, nottaires à Rouen, datté au commencement du trois novembre mil sept cents, plus le procès verbal de vente des meubles contenus audit inventaire par François Deshayes, huissier au baillage de Rouen, datté au commencement du vingt deux decembre mil sept cents deux ; et les autres pieces sont poursuittes, procedures, arrests du parlement de Rouen, copies de pieces, le tout concernant la succession dudit deffunt sieur de La Hayes et quittances de sommes payées à la decharge de sa succession ; toutes lesdites pieces cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites premiere et derniere pour le tout

Vingt six.

Item une liasse de vingt neuf pieces, qui sont anciens titres de la famille dudit feu sieur Amontons, que les partyes n'ont désiré estre autrement enoncées, mais seulement ont esté cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites premiere et derniere pour le tout

Vingt sept.

Item un petit registre relié et couvert de bazanne verte contenant cent quarente feuillets, aucuns desquels sont escrits de la main dudit feu sieur Amontons, ainsi que les partyes l'ont recogneu, à l'exception d'une recognoissance escrite d'une autre escriture et signée Le Tellier estant sur le verso du cinquiesme feuillet, le tout sans aucune rature, concernant les billets receus par ledit sieur Amontons du sieur Le Tellier, commençant sur le premier feuillet escrit : Billets que j'ay receus ou qui m'ont esté envoyez par le sieur Le Tellier, et finissant sur le cent trentiesme feuillet escrit r^o par ces autres mots : Arresté à soixante cinq livres huit sols six deniers à Paris ce vingt six may mil sept cents cinq, signé Amontons et Le Tellier, duquel registre les partyes n'ont voulu estre faite plus longue enonciation mais seulement a esté inventorié sur les premier et dernier feuillets escrits et sur la couverture dudit livre pour le tout

Vingt huit.

Item un autre petit registre relié et couvert de bazanne verte contenant cent quarente cinq feuillets, aucuns desquels sont escrits en differents endroits dudit registre, contenant le detail des biens dudit feu sieur Amontons et les sommes qu'il a receues de ses debiteurs, le premier feuillet escrit dudit feu sieur Amontons commençant par ces mots : Adelain

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Buin et Patriarche, et finissant sur le cent quinzieme feuillet par ces autres mots : Arrerages jusques à Noel mil sept cents trois soixante deux livres trois sols, ledit premier feuillet escrit seulement sur le r^o, le v^o en blanc ainsi que les deux, trois, quatre et cinquieme feuillets, le sixieme feuillet escrit seulement sur le r^o par ledit feu sieur Amontons à l'exception des quatre dernieres lignes escrites d'une main estrangere où il y a dix mots de rayez, le r^o dudit feuillet ainsi que les sept, huit, neuf et dixieme feuillets estants en blanc, le unzieme feuillet escrit en partie sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, le v^o en blanc ainsi que les douze, treize, quatorze et quinzieme feuillets, le seizieme feuillet escrit en partie sur le r^o, tant de la main dudit feu sieur Amontons que quatre lignes et un mot d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les dix sept, dix huit, dix neuf et vingtiesme feuillets estants en blanc, le vingt et unieme feuillet escrit sur le r^o seulement par ledit feu sieur Amontons, à l'exception des six dernieres lignes et demie qui sont d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les vingt deux, vingt trois, vingt quatre et vingt cinquieme feuillets sont en blanc, le 26^e feuillet escrit en partie dudit feu s^f Amontons sur le r^o, le v^o dudit feuillet ainsi que les 27, 28, 29 et 30^e feuillets estants en blanc, le 31^e feuillet escrit dudit feu sieur Amontons sur le r^o, à l'exception des trois dernieres lignes escrites d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les 32, 33, 34 et 35^e feuillets estants en blanc, le 36^e feuillet escrit seulement sur le r^o dudit feu sieur Amontons, à l'exception des trois dernieres lignes escrites d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les 37, 38, 39 et 40^e feuillets estant en blanc, le 41^e feuillet escrit seulement sur le r^o dudit feu sieur Amontons, à l'exception des cinq dernieres lignes et demie qui sont escrites d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les 42, 43, 44 et 45^e feuillets estant en blanc, le 46^e feuillet escrit seulement sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des trois dernieres lignes et demie escrite (*sic*) d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les 47, 48, 49 et 50^e feuillets estant en blanc, le 51^e feuillet escrit en partie sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, le v^o dudit feuillet estant en blanc, le 52^e feuillet escrit sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des trois dernieres lignes escrite d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet escrit en partie dudit feu sieur Amontons, le 53^e feuillet escrit en partie sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, le v^o dudit feuillet ainsi que les 54, 55 et 56^e feuillets estant en blanc, le 57^e feuillet escrit en partie sur le r^o de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des quatre dernieres lignes et demie escrites d'une main estrangere, le v^o dudit feuillet ainsi que les 58, 59, 60 et 61^e feuillets estant en blanc, le 62^e feuillet escrit sur le r^o de la main dudit

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

feu sieur Amontons, le v° en blanc, le 63^e feuillet écrit sur le r° et v° en partie de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des quatre dernières lignes et demie dudit v° écrites d'une main estrangere, les 64, 65, 66 et 67^e feuillets dudit registre en blanc, le r° du 68^e feuillet écrit de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des deux dernières lignes et demie écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 69, 70, 71, 72^e feuillets estant en blanc, le 73^e feuillet écrit entierement de la main dudit feu sieur Amontons sur le r° et le v° écrit en partie, les deux premières lignes de la main dudit sieur Amontons et les six dernières lignes d'une main estrangere, le 74^e feuillet écrit en partie sur le r° de la main dudit sieur Amontons, le v° dudit feuillet estant en blanc, le 75^e feuillet écrit sur le r° de la main dudit feu s^r Amontons, à l'exception des deux dernières lignes et demie écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 76, 77, 78 et 79^e feuillets estant en blanc, le 80^e feuillet écrit entierement sur le r° de la main dudit feu sieur Amontons, le v° dudit feuillet écrit en partie, les quatre premières lignes de la main dudit feu sieur Amontons et les cinq dernières lignes d'une main estrangere, les 81, 82, 83 et 84^e feuillets estant en blanc, le 85^e feuillet écrit en partie sur le r° de la main dudit feu s^r Amontons, le v° en blanc, le 86^e feuillet écrit entierement sur le r° de la main dudit feu sieur Amontons, le v° écrit en partie, les quatre premières lignes de la main dudit feu sieur Amontons, les trois dernières lignes et demie d'une main estrangere, les 87, 88, 89 et 90^e feuillets en blanc, le 91^e feuillet écrit r° et v° de la main dudit feu s^r Amontons, à l'exception des cinq dernières lignes et demie écrites d'une main estrangere, les 92, 93, 94 et 95^e feuillets en blanc, le 96^e feuillet écrit sur le r° de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des six dernières lignes et demie écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 97, 98, 99 et 100 feuillets estant en blanc, le 101^e feuillet écrit sur le r° de la main dudit feu s^r Amontons, à l'exception des quatre dernières lignes écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 102, 103, 104 et 105^e feuillets estant en blanc, le 106^e feuillet écrit sur le r° dudit feu sieur Amontons, à l'exception de six lignes écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 107, 108 et 109^e feuillets estant en blanc, le 110^e feuillet écrit sur le r° de la main dudit feu sieur Amontons, à l'exception des trois dernières lignes et demie écrites d'une main estrangere, le v° dudit feuillet ainsi que les 111, 112, 113 et 114^e feuillets estant <en> blanc, le 115^e feuillet écrit en partie sur le r° de la main dudit feu sieur Amontons, le v° dudit feuillet et les 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, jusques et compris le cent quatreante cinquieme feuillet et dernier dudit registre estant en blanc ; inventorié sur le

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

premier et dernier feuillet escrits et sur la couverture dudit registre pour le tout

Vingt neuf.

Item sept pieces, qui sont memoires et quittances servants à la decharge dudit feu sieur Amontons, cottées et parafées par premiere et derniere et inventoriées sur lesdites premiere et derniere pour le tout Trente.

Declarant ladite damoiselle veuve Amontons assisté dudit sieur Joly, son tuteur, qu'il y a comte à faire aveq Monsieur le president d'Hocqueville^(ee) en la Cour des aydes de Normandie, des fournitures qui luy ont esté envoyées par ledit feu sieur Amontons et des peines et soings qui ont esté pris par ledit feu sieur Amontons en la conduite des ouvrages que ledit seigneur president d'Hocqueville a fait faire en sa terre de Cany et des sommes qu'il a envoyées audit feu sieur Amontons, par l'évenement duquel comte ladite damoiselle croit que ledit seigneur president d'Hocqueville sera debiteur de quelque chose à la succession dudit feu sieur son mari.

Comme aussi qu'il y a comte à faire aveq tous les debiteurs des rentes dont les contrats sont cy dessus inventoriez des arrerages desdites rentes, la plus part desquels sont debiteurs desdits arrerages.

Que desdites deux cents livres de rente sur les aydes et gabelles et cinq grosses fermes, il est deub des arrerages, sçavoir desdites cent livres de rente hereditaires à comter du premier juillet dernier, et desdites cent livres de rente viagere à comter dudit jour jusques au jour du deceds dudit sieur Amontons.

Que desdites quinze livres de rente de la lotterie royalle, il est deub les arrerages à comter du premier juillet mil sept cents quatre^(ff).

Mais aussi declare ladite damoiselle veuve qu'il est deub par ladite communauté, sçavoir deux termes des lieux occupez par ladite damoiselle veuve qui escherront le premier janvier prochain à raison de trois cents livres^(gg) par an.

Qu'il y a comte à faire aveq ledit Antoine Bomil (*sic*), domestique dudit deffunt, des gages qui luy sont deubs et de ce qu'il a receu en deduction à raison de soixante livres par an.

Qu'il est deub à Guesdon, l'un des nottaires soussignez, la somme de deux cents livres, dont il a le billet dudit feu sieur Amontons.

^(ee) suivi de *president* rayé

^(ff) suivi de *mais* rayé

^(gg) *trois cents livres* à la suite et au lieu de *cent escus* rayé

Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

Qu'il y a comte à faire aveq le nommé Le Loup, maistre fondeur, des ouvrages et marchandises qu'il a fournies audit feu sieur Amontons pour ledit seigneur president d'Hocqueville et des sommes payées audit Le Loup par ledit feu sieur Amontons, pour raison de quoy ladite damoiselle veuve a esté assignée au chastelet à la requeste dudit Le Lou (*sic*) par exploit du vingt et un novembre dernier.

Comme aussi qu'il y a comte à faire aveq la veuve de La Vigne, serrurier, pour ouvrages qu'elle dit avoir faits et fournis pour ledit deffunt sieur Amontons et des sommes qu'il luy a payées, pour raison de quoy elle a aussi fait assigner ladite damoiselle veuve au chastelet par le mesme exploit du vingt un novembre dernier, sans par lesdites partyes approuver les demendes portées audit exploit et sauf à s'en deffendre par les voyes de droit.

Declare aussi ladite damoiselle veuve Amontons que pendant la maladie dudit sieur son mari de laquelle il est decédé, le sieur abbé Harenger, chanoine de Saint Germain de l'Auxerrois, a presté audit feu sieur Amontons une somme de cinq cents vingt livres en un billet de monnoye de pareille somme y compris l'interest, duquel billet ladite damoiselle a receu la valleur pendant ladite maladie, qu'elle a employée aux frais d'icelle et au payement de quelques dettes pressentes, de laquelle somme ladite damoiselle fit lors son billet audit sieur abbé Harenger, ledit feu sieur Amontons ne le pouvant faire à cause de sa grande foiblesse et maladie.

Declarent aussi lesdits sieurs Charmoy et damoiselle veuve qu'il est deub audit sieur Charmoy, sçavoir les frais funeraires dudit deffunt qu'il a payez en l'aquit de sa succession suivant les quittances qu'il en a retirées, qu'il representera en temps et lieu.

Plus la somme de cent livres deux sols d'argent que ledit sieur Charmoy luy a prestée, dont il n'a aucun billet.

Plus la somme de cent livres pour deux demy muids de vin qu'il luy a vendus et livrez.

Plus est deub^(hh) au medecin et chirurgien qui ont veu ledit deffunt pendant sa maladie leurs visites et seignées, et à l'apothiquaire ses drogues et remedes.

Comme aussi declare ladite damoiselle veuve Amontons qu'il est deub par ladite communauté aux marchands et artisans cy apres nommez les marchandises et ouvrages qu'ils ont faits et fourni pour ledit deffunt, sçavoir au nommé Le Grand, serrurier, au sieur Jacques, juré crieur, pour les frais du convoy et enterrement dudit deffunt autres que les frais payés par ledit sieur Charmoy, à la damoiselle Desportes, maistresse lingere, au nommé Lalouette,

^(hh) à la suite d'un mot rayé non lu
Transcription par Guy Picolet- Etat au 15.04.2011

maistre ferblantier, au sieur Billheu (*sic*), marchand de fer, au nommé Vaugon, rotisseur, au sieur Aboillard, marchand epicier, au nommé Blangy, loueur de carosses, et à la damoiselle Dufour, maitresse couturiere, pour raison de quoy il y a comte à faire aveq tous lesdits marchands, artizans et ouvriers, ne sçachant ladite damoiselle au juste ce qu'il leur est deub, sans que toutes les declarations cy dessus faites par lesdits sieur Charmoy et damoiselle veuve Amontons puissent nuire ni prejudicier à ladite mineure.

Ne s'estant plus rien trouvé à inventorier, les meubles cy dessus inventoriez du consentement desdites partyes esdits noms sont demeurez en la garde et possession dudit sieur Charmoy, qui s'en est chargé comme depositaire pour les représenter toutes fois et quantes qu'il apartiendra ; et à l'égard de tous les titres et papiers cy dessus inventoriez, ils ont esté mis en la possession dudit sieur Rebut audit nom, qui s'en est chargé pour estre par luy remis audit sieur Amontons curé de Fresne audit nom de tuteur de ladite mineure, pour y rester jusques à la majorité de ladite damoiselle veuve, lors de laquelle majorité lesdits titres et pieces seront remis par ledit sieur curé à ladite damoiselle veuve, à l'exception toutes fois du contrat de mariage dudit feu sieur Amontons et de ladite damoiselle à present sa veuve inventorié sous la cote Premiere du present inventaire, qui est resté entre les mains de ladite damoiselle veuve ; et ont signé

MARIE MARGUERITTE CHARMOY

JOLY

REBUT

S. CHARMOY

DES ECURES

GUESDON

[En marge :] Tenu pour clos le vingt deux decembre mil sept cent cinq. (*Signé :*)

CHAILLOU, TAUXIER J.

Annexe 07

ACTE DE CLOTURE DE L'INVENTAIRE APRES DECES
DE GUILLAUME AMONTONS

1705, 22 décembre (à Paris)

**Acte de clôture
de l'inventaire après décès de Guillaume Amontons**

SOURCE DU TEXTE

Paris, Arch. nat., Y 5311* : Châtelet de Paris, Parc civil, Registres de clôtures d'inventaires, Office provenant du greffier Moreau, avril 1703-mai 1723, fol. 12 r°, 22 décembre 1705.

Du vingt deux desdits mois et an [decembre 1705]

[En marge] Veuve Amontons

Est comparue Marie Margueritte Charmoi, veuve de Guillaume Amontons de l'Academie roiale des sciences, en son nom à cause de la communauté de biens qui a esté entre ledit deffunt et elle, laquelle a affirmé veritable l'inventaire fait à la requeste de M^e Julles Sebastien Jolli, tuteur de ladite comparante à cause de sa minorité, et à la requeste de Jacques Rebut, au nom et comme procureur de M^e David Amontons, fondé de sa procuration annexée audit inventaire, au nom et comme tuteur de Marie Magdelaine Amontons, fille dudit deffunt et de ladite veuve, habile à se dire et porter heritiere dudit deffunt son pere, et en presence de Sebastien Charmoi, subrogé tuteur de ladite mineure par Descures et Guedon (*sic*), notaires, le quatorze des presens mois et an, et icelui tenu pour clos.

1678, 9 juillet (A Paris)

Explicatio et usus regulae universalis...

SOURCE DU TEXTE

Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Procès-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences, Tome 7, f°170 v°- 172 r° (séance du 9 juillet 1678)

Transcription et essai de traduction: Pr. Isabelle Cogitore¹

Transcription

Explicatio et usus regulae universalis pro calculo compendioso machinarum aquae in altum euehentium per motum equorum.

Calculus huiusmodi quattuor imprimis terminos comprehendit.

Primus est ualor equi qui exprimitur in libris <171 r°> estque pondus quod equus perpendiculariter in altum attolit eadem uelocitate qua ipse incedit.

Secundus, uelocitas equi quae mensuratur per horarios ; est uero horarius equi numerus pedum quos continet uia quam ipse aequabiliter incedendo per horam conficit.

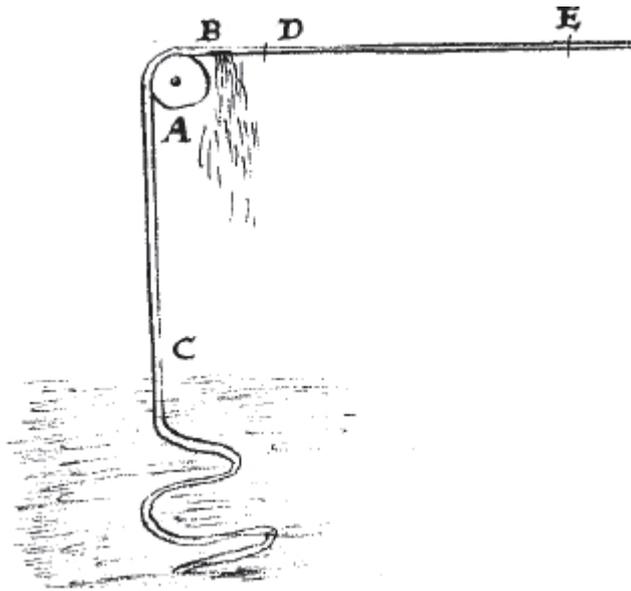
Tertius, altitudo aquae quae est spatium perpendiculare inter effusionem et superficiem aquae subjectae, seu altitudo cylindri aquaei.

Quartus, quantitas seu pondus aquae effusae per horam, quod facile reducitur ad pollices quorum singuli 1444 libras per horam suppeditant.

Ex his quattuor terminis datis tribus inuenitur quilibet quartus ex eo quod

Ratio ualoris ad quantitatem eadem sit ac ratio altitudinis ad horarium quod in adjuncta figura explicandum :

¹ Professeur de Langue et littérature latine, Université Stendhal Grenoble 3



Trochlea A incumbat cylindrus CBE ita factus ut pars BC semper sit aqua plena, quae effunditur in B, pars uero B E inter trochleam et equum trahentem uacua <171v°> existat et sine pondere saltem inseruiens tractioni² <...> BC qua supponitur in infinitum continuata, infra superficiem aquae C ut intereadum aquae ex <gr>³ a D ad E progreditur effundatur aqueus cylindrus aequalis ipsi DE, emergente continuo successu simili, et aquali ex superficie C equusque sustineat pondus BC, quod in altum tollit eadem uelocitate qua ipse incedit.

Quibus suppositis sit longitudo BC 80 ped ponderetque cylindrus 70 libras, currat equus per horam iter DE 14000 pedum manifestum est quod transeat per B ibique <uacuitur>⁴ cylindrus longus 14000 pedum cuius pondus est ipsum pondus aquae suppeditatae per horam.

Sed cum numerus pollicum ad numerum librarum per horam sit circiter ut 9 ad 14000 si placet horarium equi exprimere in <miliaria>⁵ pedum et dicatur horarius equi est 14. 14 ½ 16 pro 1400, 14500, 16000

erit regua ad compendium reducta eiusmodi

Ut 14 altitudines ad 9 horarios sic ualor equi ad pollices suppeditatos

<Qua>⁶ <regula>⁷ forma utilis est ad concludendam copiam aquae ex datis equi uiribus <172 r°> nisi materiae imperfectiones maximam impensarum uirium partem imminuerent.

² tractioni suivi d'un mot non lu

³ gr mot incertain

⁴ uacuitur mot incertain

⁵ miliaria mot incertain

⁶ Qua ou quae, lecture incertaine

⁷ regula ou regulae, lecture incertaine

Maiori cum fructu <adhibebitur>⁸ incerta ad cognoscendas imperfectiones machinarum iam experientia cognitarum.

Nam si fiat ut 9 horari ad 14 altit sic pollices profusi ad ualorem.

Comparatur ualor ita inuenta cum ualore equi aliunde cognito et cognoscetur quantum perditur ob machinae imperfectionis.

Ut pateat adductum suppositionem trochlea esse uniuersalem, considerandum est omnes machinas aquas tollentes ad illam reduci.

Nam⁹ <...> motus directus BE in machinis matatur in circularem ut iter longissimum in directum extensum angusto circulo includatur.

Deinde cylindrus uel in partes separatus catenaque in se¹⁰ redeunte adhaeret, ut in chappolet uel in directum extenditur ut in anthis quae binis modis aquam euehunt in altum ut plurimum per motum reciprocum fundi alias et imperfectius per motum ipsius tubi seu cylindri.

Ut machinae aquam haurientes eo censendae sint perfectiores quo propius ad allata trochleae simplicitatem accedunt.

Traduction

Explication et usage d'une règle universelle pour le calcul abrégé des machines élevant l'eau grâce au mouvement des chevaux.

Le calcul de ce genre comprend quatre étapes :

-1^{ère} : valeur du cheval qui s'exprime en livres <171 r°> et représente le poids que le cheval tire vers le haut de manière perpendiculaire, à la même vitesse que celle à laquelle il marche

-2^{ème} : vitesse du cheval qui est mesurée en horaire ; on appelle horaire du cheval le nombre de pieds de trajet que le cheval accomplit en avançant d'un pas régulier en une heure

-3^{ème} : hauteur de l'eau qui est l'espace perpendiculaire entre la sortie et la surface de l'eau ou l'altitude du cylindre d'eau

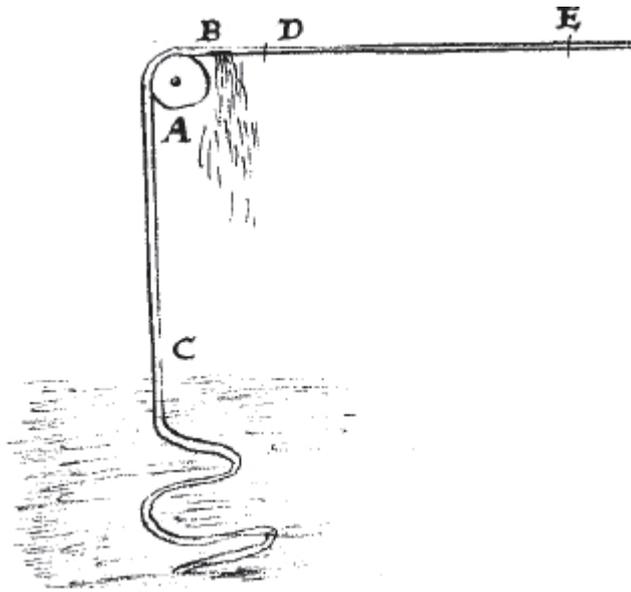
⁸ *adhibebitur*, lecture incertaine

⁹ *Nam*, suivi d'un mot non lu

¹⁰ *in se* en un seul mot dans le manuscrit

-4^{ème} : quantité ou poids de l'eau qui sort par heure, qu'on ramène facilement à des pouces dont chacun fournissent 1444 livres à l'heure.

De ces quatre étapes, quand trois sont données, on trouve le quatrième pour la raison que le calcul de la valeur sur la quantité est le même que le calcul de la hauteur sur l'horaire, ce qui est expliqué par la figure suivante :



Le cylindre CBE repose sur la poulie A et est fait de telle sorte que la partie BC soit toujours pleine d'eau qui se répand en B, mais que la partie BE entre la poulie et le cheval qui tire soit vide <171v°> et sans poids en étant asservie à la traction BC que l'on suppose continue jusqu'à l'infini, en dessous de la superficie de l'eau C <...>¹¹ va de D vers E, pour que le cylindre d'eau se répande, égal à DE, une sortie continuelle se produisant, semblable et égale à partir de la superficie C, et que le cheval soutienne toujours le poids de BC qui élève l'eau à la même vitesse que celle à laquelle il marche.

Cela étant supposé, qu'il y ait une longueur BC de 80 pieds, que le cylindre pèse 70 livres, que le cheval fasse le chemin DE à la vitesse de 14000 pieds à l'heure, il est clair que passe par B et se vide à cet endroit le cylindre long de 14000 pieds, dont le poids est précisément celui de l'eau apportée par heure.

Mais quand le nombre de pouces sur le nombre de livres à l'heure est environ de 9 à 14000 si on veut exprimer l'horaire du cheval en milliers de pieds et qu'on dise que l'horaire du cheval est de 14 14 ½ 16 pour 14000, 14500, 16000

¹¹ Mots manquants dus au problèmes de transcription

la règle de calcul sera résumée ainsi :

Comme hauteur 14 à horaire 9 <ainsi la valeur du cheval sur les pouces> >¹²

Cette règle est utile pour définir l'eau selon les forces connues du cheval, <172 v°> à moins que des imperfections de la matière diminuent les forces dépensées. On aura le plus grand profit à utiliser son expérience des choses connues pour apprendre les imperfections des machines.

Car si on fait 9 horaires sur 14 de hauteur, < sic pollices profusi ad ualorem>¹³

On compare la valeur ainsi obtenue avec la valeur du cheval connue par ailleurs, et on apprendra ainsi ce qu'on perd à cause des imperfections de la machine.

Pour que soit clair que l'arrivée d'eau par poulie est universelle, il faut prendre en considérations toutes les machines élevant de l'eau et les comparer à celle-ci.

Car le mouvement direct BE dans les machines est transformé en chemin circulaire de telle sorte qu'un chemin très long est inclus dans un cercle petit.

Ensuite, le cylindre, soit séparé en partie et la chaîne se refermant sur elle-même, comme en un chapelet ou s'étend en long, comme <...> qui élèvent l'eau de deux manières par un mouvement réciproque se répandent ailleurs de manière plus imparfaite par le mouvement du tube ou cylindre.

Les machines à puiser l'eau seront considérées d'autant plus parfaites qu'elles ajoutent la simplicité de la poulie.

¹² traduction approximative de *sic ualor equi ad pollices suppeditatos*

¹³ *sic pollices profusi ad ualorem* non traduit: ces mots concernant une idée d'augmentation

ANNEXES DU CHAPITRE 4

Annexe 01 CALCUL DE LA POTENTIA ABSOLUTA UTILE DANS LES MACHINES CONDUITES PAR UN FLUIDE MOTEUR DANS LE CAS DES PALES OBLIQUES PAR RAPPORT AU FLUIDE

(Ce qui suit se place à la suite du point 4.C.f.i)

Le raisonnement de D.Bernouilli, cependant, et il le note, n'est valable que pour les fluides frappant perpendiculairement les pales. De sorte que pour les moulins à vent ou d'autres machines similaires, le calcul doit être mené différemment. Bernouilli différencie alors ce type de machines aux pales inclinées en deux sortes (§.38) : celles qui utilisent un flux dont la largeur est significativement plus grande que les dimensions des pales, et celles dont le flux peut toujours frapper la pale en entier, quelque soit son inclinaison. Dans les deux cas, la direction du fluide est perpendiculairement au mouvement de la pale. Dans le premier cas, correspondant notamment aux moulins à vent, les auteurs ont montré que "*le fluide exerce la plus grande pression sur la pale provoquant la rotation quand la pale fait un angle avec la direction du vent dont le sinus est au sinus total comme $\sqrt{2}$ à $\sqrt{3}$* "¹, c'est-à-dire pour un angle de 54,7°. Dans le second cas, puisque la même quantité de fluide agit sur la pale inclinée que quand elle fait front perpendiculairement à la direction du fluide, il n'y a pas à compter la diminution de la force du fluide (proportionnelle à la largeur des ailes exposées, et variant suivant le sinus du même angle). De la sorte, dans ce second cas, un angle de 45° avec la direction du fluide suffira à créer la plus grande pression qui soit.

Néanmoins, ces deux "règles" ne valent, encore une fois, que si la vitesse des pâles est très inférieure à celle du fluide. Or, Bernouilli l'observe, la vitesse de l'extrémité des pâles d'un moulin à vent est presque égale à celle du vent lui-même. Ces circonstances, rendues très sensibles de par les dimensions des ailes, nécessitent de parvenir à une théorie plus raffinée pour décrire les moulins à vent.

¹ P. 221 §38 de hydrodynamics

01.a. PREMIER CAS : LA QUANTITE DE FLUIDE REÇUE PAR LA PALE DEPEND DE SON INCLINAISON (CAS DES MOULINS A VENT)

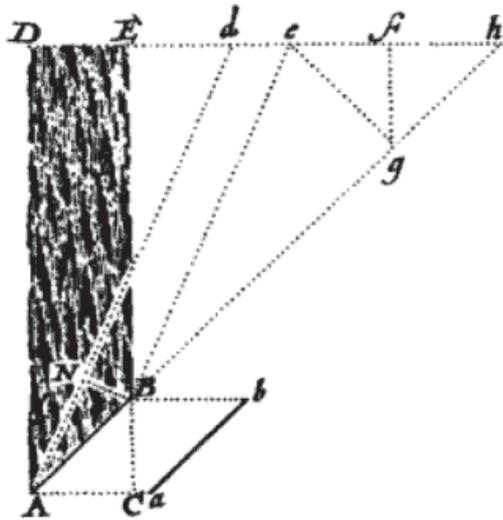


Figure 84 : le fluide DEBA de vitesse EB frappe la pale AB de vitesse bB, situation pouvant se réduire à celle d'un fluide deBA frappant la pale BA immobile.

Pour ce faire, considérant le premier deux deux cas cités, il raisonne dans le §39 sur la Figure 84. DEBA est un fluide quelconque,

- dont la vitesse $v = EB$
- AB étant une pale recevant l'impulsion du fluide
- AB se déplace suivant la direction bB avec une vitesse $V = bB$.

On peut considérer, nous dit-il, au lieu d'une pale et d'un fluide mobile, et pour la facilité de la représentation, que la pale soit immobile. Bernoulli fait alors implicitement appel à la loi (vectorielle) de composition des vitesses pour trouver que la direction et la vitesse du fluide sur la pale considérée comme immobile est eB . eB est composé de deux "mouvements", à savoir gB , colinéaire à la pale et se perdant donc entièrement, et eg , perpendiculaire à la pale. Ce dernier doit ensuite être projeté sur la direction du mouvement de la pale (quand elle est considérée comme mouvante) afin de trouver le mouvement s'exerçant sur la pale, soit ef .

En posant $AB = 1$, $DE = AC = x$, $BD = \sqrt{1-x^2}$, et observant par définition $Ee = Bb$, on obtient après un calcul fastidieux que Bernoulli passe sous silence :

$$ef = x \cdot v \cdot \sqrt{1-x^2} - (1-x^2) \cdot V$$

Néanmoins, l'impulsion du fluide sur la pale depend aussi de la quantité de matière qui la frappe. Et le nombre de particules frappant la pale dans un temps donné doit être représentée par le segment B, perpendiculaire à eB . De la sorte, "la pression de l'eau pour

moivoir la pale dans la direction Bb est proportionnelle à la ligne ef multipliée par BN^2 .

Bernoulli trouve alors

$$BN = \frac{(xv - V\sqrt{1-x^2})}{\sqrt{v^2 + V^2}},$$

d'où

$$ef \cdot BN = (xv - V\sqrt{1-x^2})^2 \cdot \frac{\sqrt{1-x^2}}{\sqrt{v^2 + V^2}}$$

Cette dernière quantité doit être dérivée et égalisée à la valeur nulle pour en trouver les extrémums.

A cela, il faut ajouter que ce calcul, bien que tenant compte de l'inclinaison des bras de la machine, doit encore être raffiné pour les moulins à vent, car la vitesse en chaque lieu de l'aile varie en proportion de sa distance au centre de l'axe de rotation. Ne voulant poursuivre plus loin, il se contente de conclure à la nécessité de l'existence d'une torsion des ailes, afin que le vent pressant le haut d'une aile le fasse avec un angle inférieur à celui qu'aurait la pale plus bas. Ou bien, si la pale n'est pas incurvée de la sorte, il s'agit de construire l'aile de sorte à ce que les bras reçoivent le vent avec l'angle moyen de 50° degrés environ.

01.b. SECOND CAS : LA QUANTITE DE FLUIDE REÇUE PAR LA PALE NE DEPEND PAS DE SON INCLINAISON.

Dans le cas où tout le fluide est supposé frapper la pale quelque soit l'inclinaison de cette dernière, il ne faut donner aucune attention à BN , puisque la quantité de matière frappant la pale ne variera pas dans un temps donné, et considéré uniquement ef . De la sorte, la plus grande pression sera donnée pour

$$x^2 = \frac{1}{2} + \frac{V}{2\sqrt{v^2 + V^2}}$$

(toujours obtenu par la méthode des minimis et des maximis). Ce qui, en remplaçant cette valeur dans l'expression de ef , donne une pression maximale égale à

$$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{v^2 + V^2} - \frac{1}{2}V$$

Ici v représente la pression directe que le courant exerce sur une aile qui lui est perpendiculaire.

01.c. CALCUL DE LA POTENTIA ABSOLUTA POUR CE SECOND CAS

Ce n'est qu'alors (§.42) qu'il peut enfin réinjecter ce dernier résultat dans ses précédents calculs en considérant que le fluide DEBA sort de l'orifice D et frappe la pale de la figure X. Il ne s'agit donc plus ici des moulins à vent, dont Bernoulli n'a pas souhaité poursuivre plus loin la discussion, mais du second cas, celui des machines frappées par l'entière du fluide quelque soit leur inclinaison. En procédant de même qu'au tout début de sa troisième partie, et définissant une pression p de l'eau frappant une pale perpendiculairement, il obtient que la pression de l'eau sur la pale ainsi inclinée est de:

$$\frac{p}{2v} (\sqrt{v^2 + V^2} - V)$$

Multipliée par la vitesse V de la pale et par le temps, on obtient alors enfin la *potentia absoluta* :

$$\frac{pVt}{2v} (\sqrt{v^2 + V^2} - V)$$

Dans l'hypothèse où V tende vers l'infini, Bernoulli calcule que la *potentia absoluta* tendra alors vers $\frac{1}{4} pvt$. Ainsi donc, conclut-il, si l'on utilise le courant DG de la figure X pour exercer une rotation d'une machine par le biais d'une impulsion oblique, on ne pourra jamais obtenir plus que le quart de la *potentia absoluta* qui est dépensé dans l'élévation de l'eau depuis C jusque EF. Or, par une impulsion directe, on ne peut jamais en obtenir plus de $4/27$. Par conséquent, une impulsion oblique a un effet presque deux fois plus important que cette dernière manière.

BIBLIOGRAPHIE

SOURCES ABBREGÉES

Académie fr. 1694 : ACADEMIE FRANÇAISE (éd.), *Le Dictionnaire de l'Académie française dédié au Roy*, 1^o éd., Paris, Veuve Jean-Baptiste Coignard, Jean-Baptiste Coignard, 1694

DSB: GILLISPIE, C. C. (éd.), *Dictionary of scientific biography*, 18 vols, New York, Charles Scribner, 1970-1990

Encyclopédie : D'ALEMBERT, JEAN LE ROND & DIDEROT, DENIS, *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers*, Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, 1751-1765

Feller : FELLER, FRANÇOIS XAVIER DE, *Biographie universelle, ou Dictionnaire des hommes qui se sont fait un nom*, nouv. ° éd., 8 vols, Lyon, Pelagaud, 1851

Furetière 1690 : FURETIERE, ANTOINE, *Dictionnaire universel, contenant généralement tous les mots françois tant vieux que modernes, et les termes de toutes les sciences et des arts*, 3 vols, La Haye & Rotterdam, A. & R. Leers, 1690

Furetière 1701 : ---, *Dictionnaire universel, contenant généralement tous les mots françois tant vieux ue modernes et les termes des sciences et des arts,... rev., corr. et augm. par M. Basnage de Bauval*, 2^o éd., 3 vols, La Haye & Rotterdam, Arnoud et Reinier Leers, 1701

HMARS : ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (éd.), *Histoire et Mémoire de l'Académie Royale des Sciences*, 97 vols, Paris, J. Boudot, 1702-1797

Hoefler : HOEFER, F. (éd.), *Nouvelle biographie générale: depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, avec les renseignements bibliographiques et l'indication des sources à consulter*, 46 vols, Paris, Firmin Didot, 1852-1866

Index Biographique : INSTITUT DE FRANCE, *Index Biographique de l'Académie des Sciences, 1666-1978*, Paris, Gauthier-Villars, 1979

Journal des sçavans : SALLO, D. D., et al. (éd.), *Le Journal des sçavans*, Paris, Jean Cusson, 1665-

Mach. : GALLON, J.-G. (éd.), *Machines et inventions approuvées par l'Académie royale des sciences depuis son établissement... avec leur description*, 7 vols, Paris, G. Martin, J.B. Coignard fils, H.L. Guérin, 1735-1777

Michaud : MICHAUD, LOUIS-GABRIEL, *Biographie universelle ancienne et moderne: histoire par ordre alphabétique de la vie publique et privée de tous les hommes...* 45 vols, Paris, A. Thoissnier Desplaces, 1843-1865

OCH : HUYGENS, CHRISTIAAN, KONINKLIJKE HOLLANDSCHE MAATSCHAPPIJ DER WETENSCHAPPEN (éd.), *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens*, 22 vols, La Haye, M. Nijhoff, 1888-1950

Richelet : RICHELET, PIERRE, *Dictionnaire françois*, Genève, Jean Herman Widerhold, 1680

PV ARS : ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (éd.), *Procès-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences*

SOURCES PRIMAIRES IMPRIMEES

ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, *Mémoires de Mathématiques et de Physique, tirez des registres de l'Académie royale des sciences*, 2 vols, Paris, Imprimerie Royale, 1692-93

---, FONTENELLE, B. L. B. D. & GODIN, L. (éd.), *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences depuis 1666 jusqu'en 1699*, 11 vols, Paris, Compagnie des libraires, 1729-1733

AMONTONS, GUILLAUME, "De la résistance causée dans les Machines, tant par les frottemens des parties qui les composent, que par la roideur des cordes qu'on y employe, & la manière de calculer l'un & l'autre", *HMARS 1699*, M, 206-227

---, "Moyen de substituer commodément l'action du feu à la force des hommes et des chevaux pour mouvoir les machines", *HMARS 1699*, M, 112-126

---, *Remarques & Expériences Phisiques sur la construction d'une nouvelle Clepsidre, sur les Barometres, Thermometres, & Hygrometres*, Paris, 1695

ANONYME, "Memoire a Monseigneur le Mareschal de Coeuure concernant les machines que le Sr Thomas Ingénieur du Roy a inventées qui doivent estre d'une utilité très considerable pour le service du Roy et du public", Paris, Archives Nationales, 1704

ARDENNI, PH. & JULIA DE FONTENELLE, JEAN-SEBASTIEN-EUGENE, *Manuel du poëlier-fumiste ou traité complet de cet art, indiquant les moyens d'empêcher le cheminées de fumer, l'art de chauffer économiquement et d'aérer les habitations, les manufactures, les ateliers, etc.*, 2^o éd., Paris, La Librairie Encyclopédique de Roret, 1835

ARISTOTE, *Aristotelis Opera omnia, graece et latine, doctissimorum virorum interpretatione et notis emendatissima... Guillelmus Du Vallius,... tertio recognovit...*, 4 vols, Paris, apud J. Billaine, 1654

ARNAULD, ANTOINE & NICOLE, PIERRE *La logique, ou L'art de penser : contenant, outre les regles communes, plusieurs observations nouvelles propres à former le jugement*, Paris, Charles Savreux, 1662

AVILER, AUGUSTIN-CHARLES D' & VIGNOLE, *Cours d'architecture qui comprend les ordres de Vignole, avec des commentaires, les figures et descriptions de es plus beaux bâtimens, & de ceux de Michel-Ange, plusieurs nouveaux desseins...l'art de bâtir avec une ample explication par ordre alphabétique de tous les termes*, 2 vols, Paris, Nicolas Langlois, 1691-1693

BAILLET, ADRIEN, *La vie de monsieur Descartes*, 2 vols, vol. 1, Paris, D. Horthemels, 1691

BASNAGE DE BEAUVAL, HENRI, *Histoire des ouvrages des sçavans, par Monsr. B**** docteur en droit*, Rotterdam, Reinier Leers, 1694-1709

BASNAGE DE BEAUVAL, HENRI *La coutume réformée du pais et duché de Normandie, anciens ressorts et enclaves d'iceluy, expliquée par plusieurs arrêts et règlements et commentée par Me Henry Basnage*, Rouen, Jean Lucas, 1681

BELIDOR, BERNARD FOREST DE, *La science des ingénieurs*, Paris, Jombert, 1729

---, *Architecture hydraulique, ou, l'art de conduire, d'élever et de menager les eaux pour les differens besoin de la vie*, 4 vols, Paris, Charles Antoine Jombert, 1737-1753

BELIDOR, BERNARD FOREST DE, NAVIER, C.-L. (éd.), *Architecture hydraulique, annot. par Navier*, Paris, Firmin Didot, 1819

BERNOULLI, DANIEL, *Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii. Opus academicum ab auctore, dum Petropoli ageret, congestum*, Strasbourg, Dulssecker, Decker, 1738

---, "Recherches sur la manière la plus avantageuse de suppléer à l'action du vent sur les grands vaisseaux", *Recueil des pièces qui ont remportés le prix de l'académie royale des sciences*, vol. VII, Paris, Panckoucke, 1769 (1753)

---, "Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite Vérole, & des avantages de l'Inoculation pour la prévenir", *HMARS*, 1760, M, 1-45

BERNOULLI, JACQUES, *Ars conjectandi, opus posthumum. Accedit Tractatus de seriebus infinitis et epistola gallice scripta de ludo pilae reticularis*, Basileae, Thurnisiorum fratrum, 1713

BERNOULLI, JEAN, *Discours sur les loix de la communication du mouvement*, Paris, Jombert, 1727

BEZOUT, ETIENNE, *Cours de mathématiques à l'usage des gardes du pavillon et de la marine*, vol. 5, Paris, 1767-1795

BLEGNY, NICOLAS DE, FOURNIER, É. (éd.), *Le livre commode des adresses de Paris pour 1692*, 2 vols, vol. 2, Paris, P. Daffis, 1878

BLONDEL, FRANÇOIS, *Histoire du calendrier romain, qui contient son origine et les divers changemens qui luy sont arrivez*, Paris, L'auteur et N. Langlois, 1682

BOILEAU, NICOLAS, *Oeuvres diverses du sieur D***: Avec le Traité du sublime ou du merveilleux dans le discours, Traduit du grec de Longin*, Paris, D. Thierry, 1674

BORELLI, GIOVANNI ALFONSO, BROEN, J. (éd.), *De vi percussiois, et motionibus naturalibus a gravitate pendentibus : sive Introductiones & illustrationes physico-mathematicæ apprimè necessariæ ad opus ejus intelligendum De motu animalium. Unà cum ejusdem auctoris responsionibus in animadversiones illustrissimi doctissimique viri d. Stephani de Angelis ad librum De vi percussiois / Giovanni Alfonso Borelli. - Editio prima belgica. Priori italicâ multò correctior & auctior, cui etiam locô figurarum lignearum prioris editionis, substitutæ sunt nitidissimæ æneæ nec non triplices indices locupletissimi.*, Lugduni batavorum, apud Petrum Van der Aa, 1686

BORELLI, GIOVANNI ALFONSO *De Motu animalium, Jo. Alphonsi Borelli,... opus posthumum*, 2 vols, Romae, ex typ. A. Bernabò, 1680-81

BOSSUET, JACQUES BENIGNE, *Catechisme du diocese de Meaux : Par le commandement de Monseigneur l'illustrissime & révérendissime Jacques Benigne Bossuet evesque de Meaux, conseiller du Roy en ses conseils, cy-devant précepteur de Monseigneur le Dauphin, premier aumosnier de Madame la Dauphine*, Paris, Sebastien Mabre-Cramoisy, 1687

BOUILLET, *Traité des moyens de rendre les rivières navigables avec plusieurs desseins de jettées, ponts à rouleaux & rampans, ecluses, souïtiens, digues, coffres pour bâtir sous l'eau, & autres machines dont on se sert en Hollande & ailleurs, pour remedier aux obstacles qui s'opposent à la navigation des rivieres, & pour approfondir les canaux & curer les ports. Où il est aussi parlé des moyens de retirer les bâtimens coulez à fond, & d'en sauver les marchandises. Ouvrage très-utile à tous les ingénieurs & à tous ceux qui se mêlent de bâtimens & de machines*, Paris, Estienne Michallet, 1693

CARDANO, GEROLAMO, *Les livres de Hiérome Cardanus,... intitulés de la subtilité et subtiles inventions, ensemble les causes occultes et raisons d'icelles, traduis de latin en françois par Richard Le Blanc* Paris, G. Le Noir, 1556

CAUS, SALOMON DE, *Les raisons des forces movvantes avec diuerses machines tant utiles que plaisantes aus quelles sont adioints plusieurs desseings de grottes et fontaines*, Francfort, Jean Norton, 1615

CAUSSIN, NICOLAS, *La Cour sainte du R. père Nicolas Caussin... mise en un bel ordre, avec une notable augmentation des vies des personnes illustres de la cour, tant du vieil et du nouveau Testament, et augmentée en cette dernière édition de la vie de l'auteur et de diverses histoires*, 2 vols, Paris, D. Bechet, 1653

CHEVALLIER, FRANÇOIS, "Des effets de la poudre à canon. Principalement dans les mines." *HMARS*, 1707, M, 526-538

CORIOLIS, GUSTAVE-GASPARD, *Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leurs évaluation, pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines*, Paris, Carilian-Golury, 1829

COULOMB, CHARLES-AUGUSTIN "Résultat de plusieurs expériences Destinées à déterminer la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces", in BACHELIER (ed.), *Théorie des Machines Simples en ayant égard au frottement de leurs parties et à la roideur des cordages*, Paris, 1821

D'ALEMBERT, JEAN LE ROND, *Traité de dynamique*, Paris, David, 1743

D'ALEMBERT, JEAN LE ROND & DIDEROT, DENIS, *Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, vol. VII, Paris, Briasson, 1757

DAL MONTE, GUIDOBALDO, *Gvidivbaldi e marchionibvs Montis Mechanicorum liber*, Pesaro, Apud H. Concordiam, 1577

---, *Le Mechaniche, nelle quali si tratta della bilancia, della lena, della tablia, dell'asse nella rosa, del cuneo, della vit...* Trad. in volgare da fil. Pigafitta, Trad. par PIGAFETTA, F., Venise, Franceschi, 1581

DANET, PIERRE, *Nouveau Dictionnaire françois et latin, enrichi des meilleures façons de parler en l'une et l'autre langue. Composé... pour monseigneur le dauphin par M. l'abbé Danet* Paris, Vve C. Thiboust et P. Esclassan, 1683

DES RUES, FRANÇOIS, *Les marguerites françoises, ou Fleurs de bien dire. Contenant plusieurs belles & rares sentences morales. Recueillies des plus excellens & graves auteurs, & mises en ordre alphabetic. Par Fr. Des-Ruës, constançois.*, Rouen, Jacques Auber, 1625

DESAGULIERS, JOHN THEOPHILUS, *Cours de physique expérimentale*, 2 vols, Trad. par PEZENAS, Paris, J. Rollin, C. A. Jombert, 1751

DESCARTES, RENE, *Discours de la methode pour bien conduire sa raison, & chercher la verité dans les sciences. Plus la Dioptrique. Les Meteores. Et la Geometrie. Qui sont des essais de cete methode*, Leyde, Maire, Joannes, 1637

---, *Meditationes de prima philosophia, in quibus Dei existencia, & animae humanae à corpore distinctio, demonstrantur, his adjunctae sunt variae objectiones virorum in istas de Deo & anima demonstrationes ; cum responsionibus auctoris, éd. de Amstelodami, ex typographia Blavania,, Amsterdam, Ex typographia Blaviana, 1685*

---, *Les Méditations métaphysiques de René Des-Cartes touchant la première philosophie... traduites du latin de l'auteur par M. le D. D. L. N. S. [duc de Luynes], et les objections faites contre ces méditations par diverses personnes très doctes, avec les réponses de l'auteur, traduites par M. C. L. R. [Clerselier.], Trad. par LUYNES, L.-C. D. A. D. D., Paris, Vve J. Camusat, et P. le Petit, 1647*

DESESSARTS, NICOLAS TOUSSAINT LE MOYNE, *Les siècles littéraires de la France: ou Nouveau dictionnaire historique, critique et bibliographique, de tous les écrivains français, morts et vivans, jusqu'à la fin du XVIIIe siècle*, 6 vols, Paris, L'auteur, 1800-1801

DESHAYES, JEAN, *La théorie et la pratique du nivellement*, Paris, l'auteur, 1685

DEZOBRY, LOUIS CHARLES & BACHELET, THEODORE, *Dictionnaire général de biographie et d'histoire: de mythologie, de géographie ancienne et moderne comparée, des antiquités et des institutions grecques, romaines, françaises et étrangères*, 2 vols, Paris, Delagrave, 1869

DIDEROT, DENIS & D'ALEMBERT, JEAN LE ROND (éd.), *Recueil de planches, sur les sciences, les arts libéraux et les arts mécaniques, avec leur explication.* , 11 vols, Paris, Briasson, David, Le Breton, Durand, 1762-1772

DU CHESNE, SIMON, *Quadrature du cercle, ou Manière de trouver un quarré égal au cercle donné, et au contraire un cercle égal au quarré, proposé avec la raison de la circonférence au diamètre*, Delf, N. Leclerc, 1614

ERRARD, JEAN, ERRARD, A. (éd.), *La Fortification démontrée et réduite en art, par feu J. Errard,... reveue, corrigée et augmentée par A. Errard, son nepveu... suivant les mémoires de l'auteur, contre les grandes erreurs de l'impression contrefaict en Allemaigne...* , Paris, 1620(1600)

EULER, LEONHARD, BERNOULLI, DANIEL, BERNOULLI, JOHANN I, BERNOULLI, NICOLAS I, BERNOULLI, NICOLAS II & GOLDBACH, CHRISTIAN, FUSS, P. H. (éd.), *Correspondance mathématique et physique de quelques célèbres géomètres du XVIIIe siècle, précédée d'une notice sur les travaux de Léonard Euler tant imprimés qu'inédits, et publiée, sous les auspices de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg.*, 2 vols, vol. 2, Saint-Pétersbourg, Imprimerie impériale des Sciences, 1843

EWBANK, THOMAS, *Descriptive and historical account of hydraulics and other machines or raising water, ancient and moderns, with observations on various subjects connected with the*

mechanic arts, incluning the progressive development of the steam engine, New York, D. Appleton & Company, 1866

FELIBIEN, ANDRE, *Description du château de Versailles, de ses peintures, et d'autres ouvrages faits pour le roi*, Paris, D. Mariette, 1696

FER, NICOLAS DE, "Huitième plan de Paris divisé en ses vingt quartiers [Cote : BNF-Cartes et Plans Ge DD 2987 (0808)]", Paris, l'auteur, 1705

FERRIERE, CLAUDE DE, *La Science parfaite des notaires, ou le Moyen de faire un parfait notaire, contenant les ordonnances, arrests et réglemens rendus touchant la fonction des notaires*, Paris, C. Osmont, 1682

FILLEAU DES BILLETTES, GILLES, "Description d'une nouvelle porte d'écluse qu'on a pratiquée dans l'entreprise de la nouvelle navigation de la Seine", *HMARS*, 1699, M, 63-68

FONTENELLE, BERNARD LE BOVIER DE, "Sur la position de l'axe des moulins à vent à l'égard du vent", *HMARS*, 1701, H, 138

---, "Eloge de M. Amontons", *HMARS*, 1705, H, 150-154

---, "Eloge de M. Homberg", *HMARS*, 1715, H, 82-93

---, "Eloge de M. Geoffroy", *HMARS*, 1731, H, 93-100

---, NIDERST, A. (éd.), *Oeuvres complètes: Fontenelle*, Paris, Fayard, 1989-

GALILEI, GALILEO, *Les mécaniques de Galilée, ... avec plusieurs additions rares et nouvelles, ... traduites de l'italien par L.P.M.M [Marin Mersenne]*, Paris, H. Guénon, 1634

GASSENDI, PIERRE & BERNIER, FRANÇOIS, *Abrégé de la philosophie de Mr Gassendi*, Paris, Jacques Langlois & Emmanuel Langlois, 1674

GENNES, DE, "Nouvelles machine pour faire de la toile sans l'aide d'aucun ouvrier", in LA ROQUE, J.-P. D. (ed.), *Journal des sçavans*, vol. XXVII, Paris, Jean Cusson, 1678, 317-320

GEOFFROY, ETIENNE-FRANÇOIS, "Observations sur les dissolutions & sur les fermentations que l'on peut appeller froides, parce qu'elles sont accompagnées du refroidissement des liqueurs dans lesquelles elles se passent", *HMARS*, 1700, M, 110-121

GEOFFROY, ETIENNE-FRANÇOIS & MARTIN, GABRIEL, *Catalogus librorum viri Cl. D. Stephanis-Francisci Geoffroy, Doctoris Medicini, antiqui facultatis Parisiensis Decani, Regii in Medicini & Chymia Professoris, Regia Scientarium Academiae Parsiensis recon Societatis Londinensis Socii*, Parisiis, Apud Gabrielem Martin, 1731

GOEDART, JAN, *Métamorphoses naturelles ou histoire des insectes observée très exactement suivant leur nature et leurs proprietés*, 3 vols, La Haye, Pays-Bas, Adrian Moetiens, 1700

GRANDJEAN DE FOUCHY, JEAN-PAUL, "Eloge de M. Pitot", *HMARS*, 1771, H, 143-157

GRAVESANDE, WILLEM JACOB'S *Eléments de Physique ou introduction à la philosophie de Newton*, Trad. par VIRLOYS, C. F. R. D., Paris, Jombert, 1747

GRENADE, LOUIS DE, *Les Oeuvres spirituelles du R. Père Louys de Grenade...., où est contenu tout ce que le chrétien doit faire depuis le commencement de la Conversion, jusques à la Perfection de cette vie : Divisées en quatre parties... Huitième & dernière édition, enrichie des passages de la Sainte Ecriture & des Pères ; & de nouveau corrigée de plusieurs fautes & mots contraires au bon usage. Le tout exactement traduit & conféré sur l'espagnol, par le R. P. Simon Martin, parisien, de l'ordre de S. François de Paule, peu avant son décès., 8 ° éd., Trad. par MARTIN, S., Lyon, Jean Goy & Simon Potin, 1686*

HENRION, DIDIER, DESHAYES, J. (éd.), *L'usage du compas de proportion...* Paris, l'auteur, 1681

HEVELIUS, JOHANNES HÖWELCKE DIT, *Johannis Hevelii Machinae coelestis pars prior, organographiam sive instrumentorum astronomicorum omnium, quibus auctor hactenus sidera rimatus ac dimensus est, accuratam delineationem et descriptionem... exhibens... , Gedani, Imprimebat S. Reiniger, 1673*

HOZIER, CHARLES-RENE D', *Armorial général de France, dressé en vertu de l'édit de 1696 par Charles d'Hozier, 35 vols, s.l., s.n., s.d.*

HUBIN, *Machines nouvellement executees, et en partie inventees par le sieur Hubin, emailleur ordinaire du roy. Première partie, ou se trouvent une clepsydre, deux zymosimetres, un peze-liqueur, & un thermometre. Avec quelques observations faites à Orleans, sur les qualitez de l'air, & particulièrement sur sa pesanteur., Paris, Chez Jean Cusson & chez l'auteur rue St Martin, 1673*

HUYGENS, CHRISTIAAN, *Dessin de la troisième expérience sur la force des eaux de Huygens de 1669, 1669*

---, "Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air", in SCIENCES, A. R. D. (ed.), *Divers ouvrages de mathématique et de physique par messieurs de l'academie royale des sciences*, Paris, Imprimerie Royale, 1693, 320-321

JOBERT & CHARMOY, MARTIN, *Factum pour Martin Charmois, marchand de vin, bourgeois de Paris... contre Paschal Tridon, sergent à verge au Châtelet de Paris... (Signé : Jobert.), s.l., 1676*

JOBLLOT, LOUIS, "Extrait d'une nouvelle hypothese sur l'aiman", *Journal de Trevoux...* III, n° Sept. 1703, 1703, pp 1477-1489

---, "Lettre de Mr. Joblot Professeur en mathématique dans l'Académie Royale de Peinture & Sculpture à Paris, à Mr. de Pujet à Lyon", *Journal de Trevoux...* III, n° Sept. 1703, 1703, pp 1474-1476

---, *Descriptions et usages de plusieurs nouveaux microscopes tant simples que composez, avec de nouvelles observations faites sur une multitude innombrable d'insectes et d'autres animaux de diverses espèces qui naissent dans les liqueurs préparées et dans celles qui ne le sont point...* vol. 2 parties en 1 volume, Paris, J. Collombat, 1718

---, *Observation d'histoire naturelle, faites avec le microscope sur un grand nombre d'insectes et sur les animalcules qui se trouvent dans les liqueurs... Avec la description et les usages des différens microscopes*, 2 vols, Paris, Briasson, 1754-1755

JOUSSE, MATHURIN, LA HIRE, G. P. D. (éd.), *L'art de charpenterie de Mathurin Jousse, corrigé et augmenté... de ce qu'il y a de plus curieux dans cet art, et des machines les plus nécessaires à un charpentier [par M. D. L. H. (de La Hire)]...* Paris, T. Moette, 1702

KIRCHER, ATHANASIUS, *Athanasii Kircheri ... Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta Quibus admirandae lucis et umbrae in mundo, atque adeo universa natura, vires effectusque uti nova, ita varia novorum reconditorumque speciminum exhibitione, ad varios mortalium usus, panduntur*, Rome, Sumptibus Hermanni Scheus, 1645

LA BRUYERE, JEAN DE, *Les caractères de Théophraste, traduits du grec, avec Les caractères ou les moeurs de ce siècle*, Paris, E. Michallet, 1688

LA CAILLE, JEAN DE, *Histoire de l'imprimerie et de la librairie, où l'on voit son origine & son progrès, jusqu'en 1689: divisée en deux livres*, Paris, Jean de la Caille, 1689

La Connoissance des temps, ou calendrier et éphémérides du lever & coucher du soleil, de la lune, & des autres planètes... Paris, J.-B. Coignard, 1679-anXI

LA HIRE, GABRIEL PHILIPPE DE, *Regiae scientiarum Academiae ephemerides, juxta recentissimas observationes ad meridianum parisiensem... authore Gab. Philip. de La Hire,... ad annum... 1701 [-1703]* Paris, J. Bourdot, 1700-1702

---, "Machine pour retenir la rouë qui sert à élever le mouton pour battre les pilotis dans la construction des ponts, des quais, & autres ouvrages de cette nature", *HMARS*, 1707, M, 188-192

LA HIRE, PHILIPPE DE, "Examen de la force nécessaire pour faire mouvoir les bateaux tant dans l'eau dormante que courante, soit avec une corde qui y est attachée & que l'on tire, soit avec des rames, ou par le moyen de quelque machine", *HMARS*, 1702, M, 254-280

---, "Traité de mécanique", in ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES (ed.), *Mémoires de l'Académie Royale des sciences*, IX, Paris, Compagnie des libraires, 1730(1695)

LEMERY, NICOLAS, *Cours de chymie, contenant la manière de faire les opérations qui sont en usage dans la médecine par une méthode facile, avec des raisonnements sur chaque opération...* , Paris, l'auteur, 1675

LEUTBREWER, CHRISTOPH *La Confession coupée, ou la Méthode facile pour se préparer aux confessions particulières et générales... de l'invention du R. P. Christophle Leutebreuver,... revue et corrigée en cette dernière édition...* Paris, D. Thierry et C. Barbin, 1677

LUC, JEAN-ANDRE DE, *Recherches sur les modifications de l'atmosphère contenant l'histoire critique du baromètre et du thermomètre, un traité sur la construction de ces instrumens, des expériences relatives à leurs usages, et principalement à la mesure des hauteurs & à la correction des réfractions moyennes: avec figures*, Genève, 1772

MARIOTTE, EDME, DE LA HIRE, P. (éd.), *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, Paris, Estienne Michallet, 1686

MASSON, ALEXANDRE & FERRIERE, CLAUDE DE, *Coutume de Paris, mise en un nouvel ordre avec des notes et conférences, pour en faciliter l'intelligence par Alex. Masson, La même, avec des notes par Claude Ferrière*, Paris, Cochart, 1680

MAUDUIC, FRANÇOIS & BOLSEC, JEROME-HERMES, *La Vie, mort et doctrine de Jean Calvin... écrite par M. Hiérosme-Hermès Bolsec,... ensemble la Vie de Jean Labadie...* , Lyon, A. Offray, 1664

MENAGE, GILLES, GOULLEY (éd.), *Menagiana, ou Bons mots, rencontres agréables, pensées judicieuses et observations curieuses de M. Ménage...* Amsterdam, A. Brackmom, 1693

MORERI, LOUIS, *Le Grand dictionnaire historique, ou le Mélange curieux de l'histoire sacrée et profane... Nouvelle et dernière édition revue, corrigée et augmentée par M. Vaultier*, 4 vols, Paris, D. Mariette, 1704

NICERON, JEAN-PIERRE, *Mémoires pour servir à l'histoire des hommes illustres dans la république des lettres : avec un catalogue raisonné de leurs ouvrages*, 43 vols, Paris, Briasson, 1729-1745

NOTAIRES LEVESQUE ET LÉBOUCHER, " Paris, Archives nationales, 1675

Nouvelles de la république des lettres, 36 vols, Amsterdam, Henry Desbordes, 1684-1718

Recueil d'opéras, Paris, M. Van Dunwalt, 1688

PAGAN, BLAISE-FRANÇOIS DE, *Les fortifications du Cte de Pagan*, Paris, C. Besongne, 1645

---, *Les Tables astronomiques du Cte de Pagan, données pour la juste supputation des planètes, des éclipses et des figures célestes. Avec les méthodes de trouver facilement les longitudes...* , Paris, J. Hénault, 1658

PARENT, ANTOINE, *Elémens de mécanique et de physique où l'on donne géométriquement les principes du choc & des équilibres entre toutes sortes de corps avec l'explication naturelle des machines fondamentales*, Paris, Florentin & Pierre Delaulne, 1700

---, "Sur la plus grande perfection possible des machines", *HMARS*, 1704, M, 323-338

---, *Recherches de mathématique et de physique...*, 2 vols, Paris, F. Delaulne, 1705

---, "Des résistances des poutres par rapport à leurs longueurs ou portées, & à leurs dimensions & situations; & des poutres de plus grandes résistance, indépendamment de tout système physique", *HMARS*, 1708, 17-31

---, *Essais et recherches de mathématique et de physique. Nouvelle édition augmentée d'un 3e volume et d'un tiers au moins en chacun des deux premiers.*, 2^e éd., 3 vols, Paris, Jean de Nully, 1713

---, "Méthode nouvelle pour couvrir les places de guerre contre les batteries de l'ennemi, avec un projet d'une nouvelle enceinte de place, tiré de douze des plus célèbres fortificateurs", *Mémoires pour l'histoire des sciences & des beaux-arts*, n° Février, 1713, pp 348-361

PITOT, HENRI, "Nouvelle méthode pour connoître & déterminer l'effort de toutes sortes de Machines mues par un Courant, ou une chute d'eau. Où l'on déduit de la loi des Mécaniques des Formules générales, par le moyen desquelles on peut faire les Calculs de l'effet de toutes ces Machines", *HMARS*, 1725, M, 78-102

---, "Comparaison entre quelques machines mues par les courants des fluides. Où l'on donne une méthode très-simple de comparer l'effet de celles dont l'arbre qui porte les aîles ou aubes est perpendiculaire au courant de l'eau, à l'effet de celles dont le même arbre est parallèle au courant." *HMARS*, 1729, M, 385-392

---, "Remarques sur les aubes ou palettes des moulins, & autres machines mues par le courant des rivières", *HMARS*, 1729, M, 253-258

---, "Regles pour connoître l'effet qu'on doit espérer d'une machine", *HMARS*, 1737, M, 269-272

PONCELET, JEAN-VICTOR, *Rapport sur les machines et outils employés dans les manufactures* 2vols, vol. 2, Paris, Imprimerie Impériale, 1857

PRONY, GASPARD-CLAIR-FRANÇOIS-MARIE RICHE DE, *Nouvelle architecture hydraulique*, Paris, F. Didot, 1790

QUESNEL, PASQUIER, *Le Nouveau Testament en françois, avec des réflexions morales sur chaque verset, pour en rendre la lecture & la méditation plus facile à ceux qui commencent à s'y appliquer. Augmenté de plus de la moitié dans les Evangiles en cette dernière édition... qui*

estoit sous le titre de Morale de l'Evangile & des Epistres de Saint Paul. , Paris, Pralard, André, 1692

RAMELLI, AGOSTINO, *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli dal Ponte della Tresia ingegniero del christianissimo re di Francia et di Pollonia. Nellequali si contengono varii et industriosi movimenti, degni digrandissima speculatione, per cavarne beneficio infinito in ogni sorte d'operatione ; composte in lingua italiana et francese*, Parigi, In casa del'autore, 1588

REAUMUR, RENE ANTOINE FERCHAULT SEIGNEUR DE, *L'Art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé*, Paris, Michel Brunet, 1722

ROBERVAL, GILLES PERSONNE DE, "L'évidence, le fait avéré, la chymère", Paris, Archives de l'Académie des Sciences

---, *Aristarchi Samii De mundi systemate, partibus et motibus ejusdem libellus. Adjectae sunt Ae. P. de Roberval,... notae in eundem libellum*, Paris, A. Bertier, 1644

SANTORI, SANTORIO, *Commentaria in primam "fen" primi libri canonis Avicennae... cum triplici indice...* , Venetiis, J. Sarcinam, 1625

SAVARY, JACQUES, *Le Parfait négociant, ou Instruction générale pour ce qui regarde le commerce de toute sorte de marchandises, tant de France que des pays estrangers...* , Paris, L. Billaine, 1675

SAVOT, LOUIS, BLONDEL, F. (éd.), *L'Architecture françoise des bastimens particuliers, composée par Me Louis Savot, augmentée dans cette 2e édition de plusieurs figures et des notes de M. Blondel... 2^o éd.*, Paris :, La Veuve de F. Clouzier, et C. Clouzier, 1685

SCOTTO, BENEDETTO, *Quadrature du cercle ; ensemble un instrument géométrique et carte maritime méditerranée avec la deffinition, conversion et multiplication de toutes figures géométriques... plus une carte maritime méditerranée en deux feuilles...* , Paris, Vve Barrault, 1620

SENNE, MICHEL DE, *Certificat de nivellement fait en conséquence de l'ordre du Roy, du 10 décembre 1724, par M. de Senne,... du nouveau canal près Pontoyse, entre la rivière d'Oyse... jusqu'à la Seine à Paris... proposé... le 30 de novembre dernier au Roy et à son Conseil par M. le C... de Jumelle et qui sera... exécuté par mondit sieur de Senne... [Signé : Le Roy de Jumelle et De Senne, Paris, le 26 janvier 1725.]*, Paris, C.-J.-B. Hérisant, s.d.

STUART, ROBERT, *A descriptive history of the steam engine*, John Knight and Henry Lacey, 1824

SURIREY DE SAINT-REMY, PIERRE, *Mémoires d'artillerie, recueillis par le Sr Surirey de Saint Remy, commissaire provincial de l'Artillerie, & l'un des cent & un officiers privilégiés de ce corps*, 2 vols, Paris, Jean Anisson, 1697

TISSOT, AMEDEV, *Étude biographique sur Jean Le Fèvre, ouvrier tisserand, astronome, membre de l'Académie des Sciences*, Lisieux, J.-B. Dumoulin, 1872

TRABAUD, *Principes sur le mouvement et l'équilibre, pour servir d'introduction aux Mécaniques & à la Physique* Paris, J. Desaint et C. Saillant, 1741

VARIGNON, PIERRE, BEAUFORT, D. & CAMUS, C.-É.-L. (éd.), *Nouvelle mécanique, ou Statique, dont le projet fut donné en M. DC. LXXXVII; ouvrage posthume de M. Varignon*, Paris, C. Jombert, 1725

VATEL, CLAUDE, "Convention entre Mathieu Radix et Guillaume Amontons", Paris, Archives Nationales, 1702

VIETE, FRANÇOIS, *L'Algèbre, Effections géométriques, et partie de l'Exégétique nombreuse de... F. Viète, traduites de latin en françois, où est adjouté des notes et commentaires et quantité de problèmes zététiques, par N. Durret...* Trad. par DURRET, N., Paris, l'auteur, 1644

VOSSIUS, ISAAC, *Le Guidon de la navigation, ou Traicté du mouvement de la mer et des vents*, Trad. par LE CHASTELAIN DE CRECY, Paris, F. Clousier, 1666

YVON, PAUL, VAN DER BIST, M. (éd.), *Quadrature du cercle, ou Moyen de trouver un quarré égal au cercle donné et au contraire un cercle égal au quarré proposé. Ensemble, Le double du cube ; inventée et trouvée par Paul Yvon,... avec les Éclaircissemens par opérations numérales et la parfaite proportion du diamètre à la circonférence, donnée et adjoustée par Martin Vander Bist...* La Rochelle, H. Haultin, 1619

SOURCES SECONDAIRES

ALLIANCE BIBLIQUE UNIVERSELLE (éd.), "La bible en français courant", Ed. interconfessionnelle, 1997

ARIOTTI PIERO E., "Christiaan Huygens : Aviation pioneer extraordinary", *Annals of Science*, 36, n° 6 novembre 1979, 1979, pp 611-624

AUGER, LEON, *Un savant méconnu: Gilles Personne de Roberval (1602-1675)*, Paris, Blanchard, 1962

- BACHELARD, GASTON, *L'Activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, P.U.F., 1951
- , "L'Actualité de l'histoire des sciences", *L'Engagement rationaliste*, Paris, P.U.F., 1972, 137-152
- BALLOT, C., "L'évolution du métier lyonnais au XVIIIe siècle et la genèse de la mécanique Jacquard", *Revue d'histoire de Lyon*, XII, 1913, pp 1-52
- BARBICHE, JEAN-MARIE, "Les Augustins déchaussés de Notre Dame des Victoires (1629-1790)"(École nationale des chartes, 2007)
- BAYLE, PIERRE, BEUCHOT, J.-Q. (éd.), *Dictionnaire historique et critique*, nouvelle ° éd., 16 vols, Paris, Desoer, 1820-1824
- BELHOSTE, BRUNO & BELHOSTE, JEAN-FRANÇOIS, " La théorie des machines et les roues hydrauliques", *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n° 29, 1990, pp 1-17
- BEN JABALLAH, HAMADI *La formation du concept de force dans la physique moderne: contribution à une épistémologie historique. Criticisme cartésien, synthèse newtonienne*, 2 vols, vol. 2, Paris, L'Harmattan, 2006
- BERNOULLI, DANIEL, "Commentation de utilissima ac commodissima directione potentiarum frictionibus mechanicis adhibendarum", in SPEISER, D. (ed.), *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 3, Mechanik*, Basel, Boston, Stuttgart, Birkhäuser Verlag, 1987(Novi commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, vol. XIII, p. 242-256, 1768 (1769)), 209-218
- , *Hydrodynamics*, Trad. par CARMODY, T. & KOBUS, H. ("Hydrodynamica, sive De viribus et motibus fluidorum commentarii (1738)"), New York, Dover Publications, INC, 1968
- , MIKHAILOV, G. K. (éd.), *Die Werke von Daniel Bernoulli, Band 5, Hydrodynamik II*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2002
- , CERULUS, F. A. (éd.), *Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 8, Technologie II*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2004
- , PEYROUX, J. (éd.), *Hydrodynamique*, Trad. par PEYROUX, J. ("Hydrodynamica sive de viribus et motibus fluidorum commentarii"), Bordeaux, J. Peyroux, 2004
- BERNOULLI, JACQUES, *Die Werke von Jakob Bernoulli*, vol. 3, Basel, Birkhäuser, 1975
- BERNOULLI, JOHANN I & VARIGNON, PIERRE, COSTABEL, P., et al. (éd.), *Der Briefwechsel von Johann I Bernoulli band 3, Der Briefwechsel mit Pierre Varignon*, Basel/Boston/ Berlin, Birkhäuser Verl, 1992

- BIREMBAUT, ARTHUR, COSTABEL, PIERRE & DELORME, SUZANNE "La correspondance Leibniz-Fontenelle et les relations de Leibniz avec l'Académie royale des Sciences en 1700-1701", *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 19, n° 2, 1966, pp 115-132
- BLAY, MICHEL, "Recherches sur les forces exercées par les fluides en mouvement à l'académie royale des sciences: 1668-1669", *Mariotte, savant et philosophe (1984) : analyse d'une renommée*, Paris, J. Vrin, 1986, 92-123
- , *La naissance de la mécanique analytique: la science du mouvement au tournant des XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF, 1992
- , *Les raisons de l'infini: du monde clos à l'univers mathématique*, Paris, Gallimard, 1993
- , "De l'apparition subreptice des futures formules de conservation à l'occasion de l'algorithmisation de la science du mouvement au tournant des XVIIe et XVIIIe siècles", *Revue d'histoire des sciences*, 54, n° 54-3, 2001, pp 291-301
- , *La science du mouvement des eaux de Torricelli à Lagrange*, Paris, Belin, 2007
- BLAY, MICHEL & HALLEUX, ROBERT (éd.), *La science classique, XVIe-XVIIIe siècle, Dictionnaire critique*, Paris, Flammarion, 1998
- BLECHET, FRANÇOISE, "L'abbé Bignon, président de l'Académie royale des sciences: un demi-siècle de direction scientifique", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres ; Paris ; New-York, Éd. Tec & doc, 2002, 51-69
- BOISTEL, GUY, *L'astronomie nautique au XVIIIe siècle en France: tables de la lune et longitudes en mer*, Lille, Atelier national de reproduction des thèses, 2003
- BOUGARD, MICHEL, *La chimie de Nicolas Lémery*, Turnhout, Brepols, 1999
- BOUTIN, PIERRE, *Jean Théophile Désaguliers: un Huguenot, philosophe et juriste, en politique*, Paris, Champion, 1999
- BRAUDEL, FERNAND, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme, XVe- XVIIIe siècle*, 3 vols, vol. 1, Paris, Armand Colin, 1979
- BRIGGS, ROBIN, "The Académie Royale des Sciences and the Pursuit of Utility", *Past & Present*, n° 131, 1991, pp 38-88
- BUFFON, GEORGES-LOUIS LECLERC, SCHMITT, S. (éd.), *Oeuvres complètes*, 38 vols, Paris, Champion, 2007(Histoire naturelle, générale et particulière avec la description du Cabinet du Roy (1749-1788))
- BURLET, RENE, CARRIERE, JEAN & ZYSBERG, ANDRE, "Mais comment pouvait-on ramer sur les galères du Roi-Soleil?" *Histoire & Mesure*, 1, n° 3-4, 1986, pp 147-208

CALERO, JULIAN SIMON, *The genesis of fluid mechanics, 1640-1780* ("La g n sis de la mec nica de los fluidos (1640-1780)"), Dordrecht, Springer, 2008(1996)

CAMUS, ALBERT, *L'homme révolté*, Paris, Gallimard, 1972(1951)

CANGUILHEM, GEORGES, "L'objet de l'histoire des sciences", * tudes d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris, Vrin, 1968, 9-23

CAPECCHI, DANILO, *Storia del principio dei lavori virtuali. La meccanica alternativa*, Benevento, Hevelius Edizioni, 2002

---, "On the Logical Status of the Virtual Work Law", *Meccanica*, n  39, 2004, pp 159–173

CARDWELL, DONALD STEPHEN LOWELL, "Power Technologies and the Advance of Science, 1700-1825", *Technology and Culture* 6, n  2, 1965, pp 188-207

---, "Some factors in the early development of the concepts of Power, Work and Energy", *The British journal for the history of science*, 3, n  11, 1967, pp 209-224

CARPENTER, AUDREY , PINK, ANDREW & UNIVERSITY COLLEGE LONDON, *The letters of James Brydges Earl of Carnarvon and later Duke of Chandos (1674–1744) to John Theophilus Desaguliers (1683–1744)*, dernière mise à jour: 2006-2010, (consulté le) 18-03-2011; disponible sur <http://www.ucl.ac.uk/~ucypanp/desaguliersletters.htm>

CARTERON, HENRI, "L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes", *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 47, né XCIV (juillet-décembre 1922), 1922, pp 243-511

CHAIX D'EST ANGE, GUSTAVE, *Dictionnaire des familles françaises anciennes ou notable, à la fin du XIXe siècle*, 20 vols, Evreux, C. H rissez, 1903-1929

CHAPRONT-TOUZE, MICHELLE & CREPEL, PIERRE, "L'octant et la plume. Grandjean de Fouchy, astronome et secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences", *Revue d'histoire des sciences*, né 61-1, janvier-juin, 2008, pp 7-23

CHAREIX, FABIEN, *La philosophie naturelle de Christiaan Huygens*, Paris, J. Vrin, 2006

CHATZIS, KONSTANTINOS, "Economies, machines et mécanique rationnelle: la naissance du concept de travail chez les ingénieurs-savants français, entre 1819 et 1829", *Annales des Ponts et Chaussées, nouvelle série*, né 82, 1997, pp 10-20

CLAEYS, THIERRY, *Dictionnaire biographique des financiers en France au XVIIIe siècle*, vol. 1 (A-K), Paris, S.P.M., 2008

CLAGETT, MARSHALL (Ed.), *Critical Problems in the History of Science. Proceedings of the Institute for the History of Science ... 1957.* , Madison, University of Wisconsin Press 1959

COHEN, IEROME BERNARD, *Franklin and Newton: an inquiry into speculative science and Franklin's work in electricity as an example thereof*, Cambridge, Harvard University, 1956

- COLLEVILLE, LUDOVIC DE, *Les ordres du roi : répertoire général contenant les noms et qualités de tous les chevaliers des ordres royaux militaires et chevaleresques ayant existé en France de 1099 à 1830, d'après les brevets originaux des Archives nationales, avec une histoire des ordres du Saint-Esprit, de Saint-Michel, de Saint-Louis, etc*, Versailles, Mémoires & documents, 2001(fac-sim. de l'éd. de 1925)
- COSTABEL, PIERRE, *Leibniz et la dynamique*, Paris, Hermann, 1960
- COTTRET, MONIQUE *Jansénismes et lumières : pour un autre XVIIIe siècle* Paris, Albin Michel, 1998
- COURCELLE, OLIVIER, *Chronologie de la vie de Clairaut (1713-1765)*, (consulté le) 7 février 2011; disponible sur <http://www.clairaut.com/n8novembre1728.html>
- COUSTANT D'YANVILLE, H., *Essais historiques et chronologiques, privilèges et attributions nobiliaires et armorial*, Paris, J. B. Dumoulin, 1866-1875
- CROQ, LAURENCE & LYON-CAEN, NICOLAS, " La notabilité parisienne entre la police et la ville : des définitions aux usages sociaux et politiques", in JEAN-MARIE, L. (ed.), *La Notabilité urbaine, Xe-XVIIIe siècles*, Caen, Publications du CRHQ, 2007, 125-157
- DAUMAS, MAURICE, *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF, 1953
- DE BERG, KEVIN C., "The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy", *Science & Education*, n° 6, 1997, pp 511-527
- , "The Development of the Concept of Work : A Case where History Can Inform Pedagogy", *Science & Education*, n° 6 1997, pp 511-527
- DEBARBAT, SUZANNE , GRILLOT, SOLANGE & LEVY, JACQUES *L'Observatoire de Paris: son histoire (1667-1963)*, 2 ° éd., Paris, Observatoire de Paris, 1990
- DELEUZE, GILLES, *Foucault*, Paris, Les Editions de Minuit, 1986
- DEMEULENAERE-DOUYERE, CHRISTIANE & STURDY, DAVID J., *L'enquête du Régent 1716-1718 Sciences, Techniques et Politique dans la France pré-industrielle*, Turnhout (Belgique), Brepols, 2008
- DESCARTES, RENE, ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Descartes- Correspondance*, vol. II, Paris, Vrin, 1975
- , ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Decartes, vol. XI : le Monde ; Description du corps humain ; Passions de l'âme ; Anatomica ; Varia* Paris, Vrin, 1986
- , ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Descartes - Correspondance*, vol. I, Paris, Vrin, 1987

- , ADAM, C. & TANNERY, P. (éd.), *Oeuvres de Descartes - Correspondance*, vol. III, Paris, Vrin, 1996
- DESCOMBES, RENE, *Chevaux et gens de l'eau: sur les chemins de halage*, Coudray-Macouard, Cheminements, 2007
- DESSERT, DANIEL, *Argent, pouvoir et société au Grand Siècle*, Paris, Fayard, 1984
- DEYON, PIERRE, *Le mercantilisme*, Paris, Flammarion, 1969
- DOLZA, LUISA & VERIN, HELENE, "Figurer la mécanique : l'énigme des théâtres de machines de la Renaissance", *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, 51, n° 2, 2004
- DORVEAUX, PAUL, "Journal de Matthieu-François Geoffroy, maître apothicaire de Paris (1644-1708)", *Bulletin des Sciences Pharmacologiques*, XIII, 1906, pp 505 sq.
- DUGAS, RENE, *Histoire de la mécanique*, Paris, Dunod, 1950
- DUHEM, PIERRE-MAURICE-MARIE, *Les origines de la statique*, vol. I, Paris, A. Hermann, 1905
- ELSTER, JON, *Leibniz et la formation de l'esprit capitaliste*, Paris, Aubier Montaigne, 1975
- ENTRETIENS DE LA VILLETTE, *La mesure, Actes des 7es entretiens de la Villette*, Paris, Centre national de documentation pédagogique, 1996
- "Expérience et raison", la science chez Huygens (1629-1695)", *Revue d'histoire des sciences*, 56, n° 1, 2003, pp 5-190
- FACCARELLO, GILBERT, *Aux origines de l'économie politique libérale: Pierre de Boisguilbert*, Paris, Anthropos, 1986
- FAVRE-LEJEUNE, CHRISTINE *Les secrétaires du Roi de la Grande chancellerie de France: dictionnaire biographique et généalogique, 1672-1789*, 2 vols, Paris, Sedopols, 1986
- FIGUIER, LOUIS, *Les Merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes*, 6 vols, vol. 2, Paris, Furne/Jouvet, 1867-1891
- FIRODE, ALAIN, *La dynamique de D'Alembert*, Montréal/Paris, Bellarmin/Vrin, 2001
- FONTENEAU, YANNICK, "D'Alembert et Daniel Bernoulli face au concept de travail mécanique", *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, XXVIII, n° 2, 2008, pp 201-220
- , "Les antécédents du concept de travail mécanique chez Amontons, Parent et Daniel Bernoulli : de la qualité à la quantité (1699-1738)", *Dix-Huitième Siècle*, n° 41, 2009, pp 343-368
- , "Penser le travail à l'époque moderne (XVIIe-XIXe s.) : introduction et perspectives", *Cahiers d'Histoire*, n° 110, 2009, pp 11-38
- FORCE, PIERRE & MORGAN, DAVID (éd.), *De la morale à l'économie politique. Dialogue franco-américain sur les moralistes français. Actes du colloque de Columbia University (New-York), 14-16 octobre 1994*, Université de Pau, 1996

- FOREST, DENIS, "Fatigue et normativité", *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 1/2001, n° 126, 2001, pp 3-25
- FOUCAULT, MICHEL, SENELLART, M., EWALD, F. & FONTANA, A. (éd.), *Naissance de la biopolitique*, Paris, Seuil, Gallimard, 2004
- , *Sécurité, territoire, population. Cours au collège de France. 1977-1978*, Paris, Gallimard ; Seuil, 2004
- FOURQUET, FRANÇOIS, *Richesse et puissance, une généalogie de la valeur*, Paris, La découverte, 1989
- FREMY, EUGENE, *Histoire de la Manufacture Royale des Glaces de France au XVIIe et au XVIIIe siècle.*, Paris, Plon-Nourrit et Cie, 1909
- GABBAY, ALAN, "Huygens et Roberval", in TATON, R. (ed.), *Huygens et la France*, Paris, J.Vrin, 1982, 69-83
- , "'Pondere, Numero et mensura", Roberval et la géométrie divine", *Revue de synthèse*, 122 (4e série), n° 2-3-4, 2001, pp 521-529
- GANDT, FRANÇOIS DE, "Force et géométrie. Mouvement et mathématiques chez Newton"(Paris I-Sorbonne, 1987)
- GILLISPIE, CHARLES C. & YOUSCHKEVITCH, ADOLF P. , *Lazare Carnot savant et sa contribution à la théorie de l'infini mathématique* Paris, Vrin, 1979
- GRALL, BERNARD, VATIN, F. (éd.), *Economie de forces et production d'utilités- L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891)*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2003
- GRATTAN-GUINNESS, IVOR, "Work for the workers : Advances in engineering mechanics and instruction in France, 1800-1830", *Annals of science*, n° 41, 1984, pp 1-33
- GUERLAC, HENRY, *Newton on the continent*, Ithaca and London, Cornell university Press, 1981
- GUEROULT, MARTIAL, *Leibniz, Dynamique et métaphysique*, Paris, Aubier -Montaigne, 1967
- GUERY, ALAIN, "Industrie et Colbertisme ; origines de la forme française de la politique industrielle ?" *Histoire, économie et société*, 8, n° 3, 1989, pp 297-312
- GUILBAUD, ALEXANDRE, "La République des hydrodynamiciens de 1738 jusqu'à la fin du 18e siècle", *Dix-Huitième Siècle*, n° 40, 2008, pp 153-171
- HACKING, IAN, *L'émergence de la probabilité*, Trad. par DUFOUR, M. ("The Emergence of probability"), Paris, Seuil, 2002
- HAHN, ROGER, "The Applications of science to society : The societies of art", *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 25, 1963, pp 829-836

---, *L'anatomie d'une institution scientifique : l'Académie des sciences de Paris, 1666-1803* ("The Anatomy of a scientific institution : the Paris academy of sciences, 1666-1803"), Bruxelles, Paris; Yverdon (Suisse); Amsterdam, Ed. des archives contemporaines; Gordon and Breach Science Publ.; OPA, 1993(1971)

HALLEUX, ROBERT, *Le savoir de la main : savants et artisans dans l'Europe pré-industrielle*, Paris, A. Colin, 2009

HANKINS, THOMAS L., "Eighteenth-Century Attempts to Resolve the Vis viva Controversy", *Isis*, 56, n° 3, 1965, pp 281-297

---, *Jean D'Alembert: Science and the enlightenment*, New York, Philadelphia, London, Gordon and Breach, cop. 1990

HECKSCHER, ELI FILIP, *Mercantilism*, 2 vols, London ; New York, Routledge, 1994(1931)

HILAIRE-PEREZ, LILIANE, *L'invention technique au siècle des Lumières*, Paris, Albin Michel, 2000

HOZIER, CHARLES-RENE D', PREVOST, G.-A. (éd.), *Armorial général de France (édit de novembre 1696) : généralité de Rouen, publié d'après le manuscrit de la bibliothèque nationale*, 2 vols, Rouen/Paris, A. Lestringant/ A.Picard fils, 1910

HOZIER, JEAN-FRANÇOIS-LOUIS D', *Recueil de tous les membres composant l'ordre royal et militaire de Saint-Louis, depuis l'année 1693, époque de sa fondation; précédé des édits de création et autres relatifs audit ordre*, 2 vols, Paris, Au bureau général du Bon Français, 1817-1818

INSTITUT DE FRANCE (éd.), *Lois, statuts et règlements concernant les anciennes académies et l'institut de 1635 à 1889. Tableau des fondations. Collection publiée, sous la direction de la commission administrative centrale, par M. Léon Aucoc*, Paris, Imprimerie Nationale, 1889

ISMAEL YOUSSEF, DJAMA, "Les phénomènes de choc et les principes de conservation : débats historiques et processus d'apprentissage"(Université Lyon 1, 1999)

JARRIGE, FRANÇOIS, "Le travail discipliné: genèse d'un projet technologique", *Cahiers d'Histoire - Revue d'Histoire Critique*, n° 110, 2009, pp 99-116

JULLIEN, VINCENT, "Descartes-Roberval, une relation tumultueuse", *Revue d'histoire des sciences*, 51, n° 51-2-3, 1998, pp 363-372

KLEMM, FRIEDRICH, *A history of Western technology* Trad. par SINGER, D. W. ("Technik: eine Geschichte ihrer Probleme"), London, G. Allen and Unwin, 1959

KOBAYASHI, MIKIO, *La philosophie naturelle de Descartes*, Paris, J. Vrin, 1993

- KONARSKI, W., "Un savant berrisien, précurseur de M.Pasteur, Louis Joblot (1645-1723)", *Mémoires de la Société des gens de lettres, sciences et arts de Bar-le-Duc*, 4, 3e série, 1895, pp 205-333
- KUHN, THOMAS S., "Un exemple de découverte simultanée : la conservation de l'énergie", *La tension essentielle, Tradition et changement dans les sciences*, Paris, Gallimard, 1990, 111-156
- LABORDE, LEON DE, GUIFFREY, J.-J. & SOCIÉTÉ DE L'HISTOIRE DE L'ART FRANÇAIS (éd.), *Les comptes des bâtiments du Roi (1528-1571) : suivis de documents inédits sur les châteaux royaux et les beaux-arts au XVIe siècle*, vol. 1, Paris, J. Baur, 1877-1880
- LA BRUYÈRE, JEAN DE, JOUHANDEAU, M. & HAUSSER, E. (éd.), *Les caractères*, Paris, Editions Gallimard et Librairie Générale Française, 1965(1688)
- LA CONTE, MARIE-CHRISTIANE DE MAROTEAUX, V. & ARCHIVES DÉPARTEMENTALES DE LA SEINE-MARITIME (éd.), *Cour des Aides (1440-1790) Sous-série 3B (répertoire numérique)*, Rouen, 2006
- LAFONT, MARYVONNE & LAFONT, OLIVIER, "Personnalisation des rapports individu-puissance publique, ou Geoffroy et la famille Le Tellier", *Revue d'histoire de la pharmacie*, 79, n° 288, 1991, pp 15-23
- LALANDE, JÉRÔME DE, *Bibliographie astronomique, avec l'histoire de l'astronomie depuis 1781 jusqu'à 1802*, Paris, Imprimerie de la République, 1803
- LA MONNERAYE, J. D., DERENS, I. & VERLET, H. (éd.), *Terrier de la censive de l'Archevêché dans Paris*, 3 vols, Paris, Imprimerie Nationale, 1906-2005
- LAUNAY, FRANÇOISE, "Buot [Buhot], Jacques", in HOCKEY, T., et al. (ed.), *The Biographical Encyclopedia of Astronomers*, New York, Springer, 2007, 183
- LE SUEUR, BERNARD, "Ces drôles de machines à remonter les bateaux: les toueurs", *Chasse-Marée*, n° 174, 2004, pp 40-51
- LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM, GERHARDT, C. (éd.), *Mathematische Schriften*, vol. 6, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 1971
- , GERHARDT, C. I. (éd.), *Die philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz* 7vols, Hildesheim, New York, G. Olms, 1978
- LELIEVRE, JACQUES, *La pratique des contrats de mariage chez les notaires au Châtelet de Paris de 1769 à 1804*, Paris, Cujas, 1959
- LICOPPE, CHRISTIAN, *La formation de la pratique scientifique : le discours de l'expérience en France et en Angleterre, 1630-1820*, Paris, La découverte, 1996

- MAINDRON, ERNEST, *L'Académie des sciences : histoire de l'Académie, fondation de l'Institut national, Bonaparte membre de l'Institut national* Paris, F. Alcan, 1888
- MAIRE, CATHERINE *De la cause de Dieu à la cause de la Nation : le jansénisme au XVIIIe siècle*, Paris, Gallimard, 1998
- MARTEILHE, JEAN, ZYSBERG, A. (éd.), *Mémoires d'un galérien du Roi-Soleil*, Paris, Mercure de France, 1982(1778)
- MAZAURIC, SIMONE, "Des académies de l'âge baroque à l'académie royale des sciences", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres ; Paris ; New-York, Éd. Tec & doc, 2002, 13-24
- MCCLAUGHIN, TREVOR & PICOLET, GUY, "Un exemple d'utilisation du Minutier central de Paris: la bibliothèque et les instruments scientifiques du physicien Jacques Rohault selon son inventaire après décès", *Revue d'Histoire des Sciences*, 29, n° 1, 1976, pp 3-20
- MESNARD, JEAN, *Pascal et les Roannez*, 2 vols, Paris, Desclée de Brouwer, 1965
- MEYSSONNIER, SIMONE, *La Balance et l'horloge : la genèse de la pensée libérale en France au XVIIIe siècle*, Montreuil, Éd. de la Passion, 1989
- MIKHAILOV, GLEB K., "Introduction to Daniel Bernoulli's Hydrodynamica", in MIKHAILOV, G. K. (ed.), *Die werke von Daniel Bernoulli, band 5, Hydrodynamik IIXXVII-729* vols, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 2002, 17-78
- MILHAUD, GASTON, *Descartes savant*, Paris, F. Alcan, 1921
- MINARD, PHILIPPE, *La fortune du colbertisme : Etat et industrie dans la France des Lumières*, Paris, Fayard, 1998
- MORMINO, GIANFRANCO, "La force de percussion chez Galilée et Descartes", *XVIIe siècle*, 2009/1, n° 242, 2009, pp 45-57
- MORTON, ALAN Q., "Concepts of Power: Natural Philosophy and the Uses of Machines in Mid-Eighteenth-Century London ", *The British Journal for the History of Science*, 28, n° 1, 1995, pp 63-78
- MOSCOVICI, SERGE, "Remarques sur le dialogue de Galilée De la force de la percussion ", *Revue d'Histoire des Sciences*, XVI, 1963, pp 97-137
- NAPPO, T. (éd.), *Index Biographique Français*, 7 vols, München, K.G. Saur, 2004
- NEEDHAM, JOSEPH, *Science and civilisation in China*, Cambridge, Cambridge University Press, 1954-
- PACEY, A. J. & FISHER, S. J. , "Daniel Bernoulli and the vis viva of compressed air", *The British journal for the history of science*, 3, n° 4, 1967, pp 388-392

- PANZA, MARCO, "De la nature épargnante aux fomes généreuses: le principe de moindre action entre mathématiques et métaphysique. Maupertuis et Euler, 1740-1751", *Revue d'Histoire des Sciences*, 48, n° 48-4, 1995, pp 435-520
- PARKER, GEOFFREY, *La révolution militaire : la guerre et l'essor de l'Occident : 1500-1800*, Trad. par JOBA, J. ("The military révolution : military innovation and the rise of the West : 1500-1800"), Paris, Gallimard, 1993
- PASINI, ENRICO, *Il reale e l'immaginario. La fondazione del calcolo infinitesimale nel pensiero di Leibniz*, Torino, Sonda, 1993
- , "La philosophie des mathématiques chez Leibniz. Lignes d'investigation." *Nihil sine ratione. Mensch, Natur und Technik im Wirken von G.W. Leibniz, Akten des VII. Internationalen Leibniz-Kongreß.*, Berlin, Leibniz-Gesellschaft, 2001, 954-963
- PASSERON, IRENE, "La société des arts, espace provisoire de reformulation des rapports entre théories scientifiques et pratiques instrumentales", in DEMEULENAERE-DOUYERE, C. & BRIAN, E. (ed.), *Règlement, usages et science dans la France de l'absolutisme*, Londres; Paris; New York, Tec&Doc, 2000, 109-132
- PEAUCELLE, JEAN-LOUIS, "Vauban, la normalisation du travail avant Taylor ?" *Gérer et comprendre*, 87, n° mars, 2007
- PEIFFER, JEANNE & VITTU, JEAN-PIERRE, "Les journaux savants, formes de la communication et agents de la construction des savoirs (17e-18e siècles)", *Dix-Huitième Siècle*, n° 40, 2008, pp 281-300
- PELLISSIER, FRANÇOIS, "L'économie politique des années difficiles : France 1685-1715"(Thèse de doctorat, Paris I, 1984)
- Penser le travail à l'époque moderne", *Cahiers d'Histoire*, n° 110, 2010
- PERROT, JEAN-CLAUDE, "Portrait des agents économiques dans l'oeuvre de Boisguilbert", in HECHT, J. (ed.), *Boisguilbert parmi nous : actes du colloque international de Rouen, 22-23 mai 1975* Paris, INED, 1989, 141-156
- , *Une histoire intellectuelle de l'économie politique (XVIIe-XVIIIe siècle)*, Paris, 1992
- PICOLET, GUY, "Huygens et Picard", in TATON, R. (ed.), *Huygens et la France*, Paris, J. Vrin, 1982, 85-97
- , "A la recherche des matériaux d'une biographie: l'exemple de l'astronome Cusset", in BRIAN, E. & DEMEULENAERE-DOUYERE, C. (ed.), *Histoire et mémoire de l'Académie des sciences, Guide de recherches*, Londres/Paris/New York, Lavoisier Tec & Doc, 1996, 263-284

PINAULT-SORENSEN, MADELEINE, "La description des arts et métiers et le rôle de Duhamel du Monceau", in CORVOL, A. (ed.), *Duhamel du Monceau 1700-2000. Un Européen du siècle des lumières*, Orléans, Académie d'Orléans, 2001, 133-145

POLANYI, KARL, *La grande transformation*, Trad. par MALAMOUD, C. & ANGENO, M., Paris, Gallimard, 1983(1944)

PRIS, CLAUDE, *La manufacture royale des glaces de Saint-Gobain, 1665 -1830, Une grande entreprise sous l'ancien régime*, 3 vols, Lille, Service de reproduction des thèses, Université de Lille III, 1975

PROUDHON, P.-J., *Qu'est-ce que la propriété ? (édition présentée par Robert Damien ; introduite et annotée par Edward Castleton)*, Paris, Librairie générale française, 2009(1840)

RADELET DE GRAVE, PATRICIA, "La mécanique de Philippe de La Hire (1640-1718)", in *Philippe de la Hire, entre architecture et sciences*, Paris (INHA, ENSA Paris-Malaquais, Académie d'Architecture), 2010

RAPP, FRIEDRICH, *Analytical Philosophy of Technology (Boston Studies in the philosophy of science, vol. 63) ("Analytische Technikphilosophie")*, Dordrecht, Holland, D. Reidel Publishing Company, 1980(1978)

RATCLIFF, MARC, *The Quest for the Invisible: microscopy in the enlightenment*, Farnham (GB)/ Burlington (Vt., USA), Ashgate, 2009

REDONDI, PIETRO, *L'accueil des idées de Sadi Carnot et la technologie française de 1820 à 1860*, Paris, Vrin, 1978

Revue de Rouen et de la Normandie Littéraire-Historique-Industrielle, 14 e année, 1846 1er semestre, Rouen, Imprimerie de A. Péron, 1846

RIEUCAU, NICOLAS & PRADIER, PIERRE CHARLES, "Exposé succinct et inédit de la contestation qui s'est élevée entre D'Alembert et Bernoulli au sujet de l'inoculation de la petite vérole ", *Bollettino di storia delle scienze matematiche*, xxviii, n° 2, 2008, pp 239-253

RITTI, TULLIA, GREWE, KLAUS & KESSENER, PAUL "A Relief of a Water-powered Stone Saw Mill on a Sarcophagus at Hierapolis and its Implications", *Journal of Roman Archaeology*/, 20, 2007, pp 138–163

ROCHE, DANIEL, "Le temps de l'eau rare du Moyen Âge à l'époque moderne", *Annales, Economies, Sociétés, Civilisations*, 39, n° 2, 1984, pp 383-399

---, *Le Siècle des Lumières en province: académies et académiciens provinciaux, 1680-1789*, 2 vols, Paris, Éd. de l'École des hautes études en sciences sociales, 1989

---, *La culture équestre occidentale, XVIe-XIXe siècle l'ombre du cheval I Le cheval moteur, essai sur l'utilité équestre*, Paris, Fayard, 2008

- ROCHE, JOHN, "What is potential energy? " *European Journal of physics*, n° 24, 2003, pp 185-196
- ROSSI, PAOLO, *Les philosophes et les machines : 1400-1700*, Trad. par VIGHETTI, P. ("I filosofi e le macchine (1400-1700)"), Paris, PUF, 1996(1962)
- ROTHKRUG, LIONEL, *Opposition to Louis XIV: the political and social origins of the French enlightenment*, Princeton, Princeton University Press, 1965
- ROUX, SOPHIE, GAILLARD, AURELIE, GOFFI, JEAN-YVES & ROUKHOMOVSKY, BERNARD (éd.), *L'automate. Modèle, métaphore, machine, merveille, actes du colloque de Grenoble (19-21 mars 2009)*, Bordeaux, Publications de l'Université de Bordeaux, 2010
- SALIGNAC DE LA MOTHE FENELON, FRANÇOIS DE, ORCIBAL, J. (éd.), *Correspondance de Fénelon*, 18 vols, Paris, Klincksieck, 1972-2007
- SALIOU, CATHERINE, "Remarques sur le travail dans les mondes grecs et romain. Pour une histoire de l'espace de travail", *Cahiers d'Histoire*, n° 83, 2001, pp 13-25
- SALOMON-BAYET, CLAIRE, "Un préambule théorique à une Académie des Arts. Académie royale des Sciences (1693-1696). Présentation et textes." *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, 23, n° 3, 1970, pp 229-250
- SCHAEFER, THOMAS J. , *The French Council of Commerce, 1700–1715: A Study of Mercantilism after Colbert*, Columbus, Ohio State University Press, 1983
- SCHAFFER, SIMON, "The show that never ends: perpetual motion in the early eighteenth century", *The British journal for the history of science*, n° 28, 1995, pp 157-189
- SCHAPIRA, NICOLAS "Occuper l'office. Les secrétaires du roi comme secrétaires au XVIIe siècle", *Revue d'Histoire Moderne et Contemporaine*, n° 51-1, janvier-mars 2004, 2004, pp 36-61
- SCHMIT, CHRISTOPHE, "Equilibre et dynamique. Etudes sur la mécanique française aux XVIIe et XVIIIe siècles: Malebranche, Varignon, sciences des machines et collisions."(Université de Nantes, 2007)
- SEGUIER, CHANCELIER DE VERTHAMONT, F. D. & FLOQUET, A. (éd.), *Diaire ou journal du voyage du chancelier Séguier en Normandie après la sédition des Nu-pieds (1639-1640) et documents relatifs à ce voyage et à la sédition: publiés pour la première fois d'après les manuscrits de la Bibliothèque royal avec de nombreuses annotations*, E. Frère, 1842
- SEIGNE, JACQUES, "A sixth-century waterpowered sawmill at Jerash", *ADAJ*, 46, 2002, pp 205-213
- , "Une scierie mécanique du VI^e siècle", *Archéologia* n° 385, 2002, pp 36-37

SEINE-INFÉRIEURE, COMMISSION DÉPARTEMENTALE DES ANTIQUITÉS *Bulletin de la Commission des antiquités de la Seine-Inférieure, t. 12 (1900-1902)*, Rouen, Imprimerie Cagniard

SERIS, JEAN-PIERRE, *Machine et communication : du théâtre des machines à la mécanique industrielle*, Paris, Vrin, 1987

SORDET, YANN, "Le recours au catalogue de vente de Gabriel Martin à Seymour de Ricci", in CHARON, A., PARINET, É. & BOUGE-GRANDON, D. (ed.), *Les ventes de livres et leurs catalogues, XVIIe-XXe siècle: actes des journées d'étude organisées par l'Ecole nationale des chartes, Paris, 15 janvier 1998, et par l'Ecole nationale supérieure des sciences de l'information et des bibliothèques, Villeurbanne, 22 janvier 1998*, Paris, Ecole nationale des chartes, 2000, 99-118

SPILLEMAECKER, CHANTAL (éd.), *Vaucanson, l'homme et la machine*, Grenoble, Musée Dauphinois, 2010

STEELE, BRETT D., "Muskets and Pendulums: Benjamin Robins, Leonhard Euler, and the Ballistics Revolution", *Technology and Culture*, 35, n° 2, 1994, pp 348-382

STEWART, LARRY, *The rise of public science : rhetoric, technology, and natural philosophy in newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge ; New York Cambridge university press, 1992

STEWART, LARRY & JACOB, MARGARET C., *Practical matter: Newton's science in the service of industry and empire, 1687-1851*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2004

STROUP, ALICE, "Royal Funding of the Parisian Académie Royale des Sciences during the 1690s", *Transactions of the American Philosophical Society*, 77, n° 4, 1987, pp 1-167

STURDY, DAVID J., *Science and social Status. The members of the académie des sciences, 1666-1750*, Woodridge, The Boydell Press, 1995

TALBOT, G.R. & PACEY, A.J., " Antecedents of thermodynamics in the work of Guillaume Amontons", *Centaurus*, 16, 1971-1972, pp 20-40

TARDY, *Dictionnaire des horlogers français*, vol. 1, Paris, Tardy, 1971

TATON, R. (éd.), *Huygens et la France*, Paris, J. Vrin, 1982

TAVENEAU, RENE, *Jansénisme et politique*, Paris, Colin, 1965

THURSTON, ROBERT H., *Histoire de la machine à vapeur, revue, annotée et augmentée d'une introduction par J.HIRSCH*, 2 vols, Paris, Germer Baillièere et Cie, 1880

TORLAIS, JEAN, *Un esprit encyclopédique en dehors de "l'Encyclopédie", Réaumur, d'après des documents inédits*, Bruges; Paris, Impr. Desclée De Brouwer et Cie ; Desclée De Brouwer et Cie, 1937

- , *Un Rochelais grand-maître de la franc-maçonnerie et physicien au XVIIIe siècle, le Révérend J.-T. Désaguliers*, La Rochelle, F. Pijollet, 1937
- VATIN, FRANÇOIS, *Le travail, économie et physique, 1780-1830*, Paris, P.U.F., 1993
- , *Economie politique et économie naturelle chez Antoine-Augustin Cournot*, Paris, PUF, 1998
- , *Le travail, sciences et société, Essais d'épistémologie et de sociologie du travail*, Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 1999
- , *Le travail et ses valeurs*, Paris, Albin Michel, 2008
- , "Le "travail physique" comme valeur mécanique (XVIIIe- XIXe siècles), deux siècles de croisements épistémologiques entre la physique et la science économique", *Cahiers d'Histoire*, n° 110, 2009, pp 117-135
- VATIN, FRANÇOIS & SIMONIN, JEAN-PASCAL (éd.), *L'œuvre multiple de Jules Dupuit. Calcul d'ingénieur, analyse économique et pensée sociale*, Angers, Presses universitaires d'Angers, 2002
- VAUBAN, SEBASTIEN LE PESTRE DE, VIROL, M. (éd.), *Les oisivetés de monsieur de Vauban ou Ramas de plusieurs mémoires de sa façon sur différents sujets*, Seyssel, Champ Vallon, 2007
- VERIN, HELENE, *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIIIe siècle*, Paris, Albin Michel, 1993
- VIARD, JEROME, "D'Alembert et le langage scientifique: l'exemple de la force, un malentendu qui perdure", in KÖLVING, U. & PASSERON, I. (ed.), *Sciences, musiques, Lumières, mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet*, Ferney-Votaire, Centre International d'Etude du 18e siècle, 2002, 93-106
- VILAIN, CHRISTIANE, *La mécanique de Christian Huygens. La relativité du mouvement au XVIIe siècle*, Paris, A. Blanchard, 1996
- VIROL, MICHELE, *Vauban : de la gloire du Roi au service de l'Etat*, Paris, Champ-Vallon, 2003
- VITU, AUGUSTE, "La maison des Pocquelin et la maison de Regnard aux piliers des halles, 1663-1884", *Mémoires de la Société de l'histoire de Paris et de l'Ile de France*, XI, 1884, pp 18-21
- VUILLEMIN, JULES, *Nécessité ou contingence : l'aporie de Diodore et les systèmes philosophiques*, Paris, Editions de Minuit, 1984
- WALLIS, J., "Mechanicorum, sive Tractatus de Motu, pars tertia", *Opera Mathematica*, vol. 1, Hidelshheim/New York, Georg Olms Verlag, 1972(1695)

WIGELSWORTH, JEFFREY R., "Competing to Popularize Newtonian Philosophy: John Theophilus Desaguliers and the Preservation of Reputation", *Isis*, 94, n° 3, 2003, pp 435-455

WISNIAK, JAIME, "Guillaume Amontons", *Revista CENIC Ciencias Quimicas*, 36, n° 3, 2005, pp 187-195

WOLF, CHARLES-JOSEPH-ETIENNE, *Histoire de l'observatoire de Paris de sa fondation à 1793*, Paris, Gauthier-Villars, 1902

ZYSBERG, ANDRE, *Les galériens, vies et destins de 60000 forçats sur les galères de France 1680-1748*, Paris, Seuil, 1987

MULTIMEDIAS

World Biographical Information System [Base de données en ligne], De Gruyter, (consulté le 23/01/2007; disponible sur <http://db.saur.de/WBIS>)

MANUSCRITS

BLOIS

Archives de Saint Gobain

1. Archives de Saint-Gobain, Cote A2/2 : Offre de Radix à Geoffrin de mettre 27500 livres dans le nouveau fonds afin d'avoir voix délibérative, 30 septembre 1702 ;
2. Archives de Saint-Gobain, Cotes A1/1, A1/2 et A2/2 : lettres patentes et arrêts du conseil relatifs à la Compagnies Plâtrier où apparait le nom de Mathieu Radix ;
3. Archives de Saint-Gobain, Cote J3 et J6 : procès entre la Manufacture des Glaces et Jourdan et Radix (1698-1727).

MONTIGNY-LE-BRETONNEUX

Archives départementales des Yvelines

4. Archives départementales des Yvelines, 1MIEC169 : Registres paroissiaux BMS, Triel Sur Seine, paroisse St Martin (1708-

1734), sp. 16 mai 1729. Mariage de Louis Tessier et Marie Magdelaine Amontons

PARIS

Archives de l'Académie des Sciences

5. Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Procès-Verbaux de l'Académie Royale des Sciences
6. Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Dossier biographique de Des Billettes, Notes diverses, 28 octobre 1694
7. Paris, Archives de l'Académie des Sciences, Pochette de séances 1714, lettre du père Sébastien du 29 juillet 1714 : Observations faites à Paris en 1694 ; sur la force naturelle des hommes et des chevaux.

Archives Nationales

a) Minutier Central

8. Paris, Archives nationales, ET/XXIII/392: Minutier Central, Minutes de M^e Jacques Guesdon, notaire au châtelet de Paris, juillet-décembre 1705, pochette décembre, spéc. 14 décembre 1705. Inventaire après décès de Guillaume Amontons.
9. Paris, Archives nationales, ET/XLIV/ : Minutier Central, Minutes de Nicolas I de Savigny, spéc. 2 mai 1709 : Inventaire après décès de Charles Aboillard.
10. Paris, Archives nationales, ET/LXII/292 : Minutier Central, Minutes de Charles veillart, spéc. 26 sept. 1710 : Contrat de mariage entre Claude-François Delacroix et Magdelaine Jonas.
11. Paris, Archives Nationales, ET/LXIX : Minutier Central, Minutes du notaire Claude Vatel, spéc. 8 mars 1702. Convention Entre Mathieu Radix Et Guillaume Amontons.
12. Paris, Archives nationales, ET/LXXVIII/493 : Minutier Central, Minutes de Hugues Bru. Contrat de mariage entre Guillaume Amontons et Marie Marguerite Charmoy, 18 avril 1702.
13. Paris, Archives nationales, ET/C/283 : Minutier Central, Minutes de Guillaume Levesque, spéc. 20 sept. 1666. Contrat

de mariage de Charles Aboillard et Marguerite Dupuis (classé entre le 17 et le 18).

b) Série Y (Châtelet de Paris)

i. Parc Civil (Y494 à 6612)

14. Paris, Archives Nationales, Y 4149 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, Nov.-déc. 1705, spéc. 11 décembre 1705. Election des tuteurs de Marie Marguerite Charmoy et Marie Madeleine Amontons.
15. Paris, Archives Nationales, Y 4651 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, Sept. 1746, spéc. 17 sept. 1746. Mariage de Jean-Baptiste-Charles Chomel.
16. Paris, Archives Nationales, Y4458 : Châtelet de Paris, Parc civil, Actes faits en l'hôtel du lieutenant civil, Minutes 1584-1791, août 1730, spéc. 14 août 1730. Elections de tuteurs de Marie Magdeleine et Jean Joseph Bernier.
17. Paris, Archives nationales, Y5283 : Châtelet de Paris, Parc civil, Registre de clotûre d'inventaires (1681-1791), Office provenant du greffier Colin, fév. 1725- oct.1736, sp. 25 juin 1727. Clôture d'inventaire de Charles Marcadé.
18. Paris, Archives nationales, Y 5311* : Châtelet de Paris, Parc civil, Registres de la prévôté, Registres de clôtures d'inventaires (1681-1791), Office provenant du greffier Moreau, avril 1703-mai 1723, spéc. 22 décembre 1705. Clôture d'inventaire de Guillaume Amontons.

Bibliothèque de l'Institut de France(BI)

19. Paris, BI, Ms 1605, fol. 44 : règle pour diminuer les colonnes, de Guillaume Amontons

Bibliothèque de l'Observatoire

20. Paris, Bibliothèque de l'Observatoire, A 1-9 : Astronomes, 1670-1699, Notices préparées par J.-N. Delisle, n°39. Delisle, Joseph-Nicolas, "Jean Le Fevre" (s.d.). Anciennement : Delisle n°10, au lieu de A 1-9.

Bibliothèque Nationale de France

21. BnF, f. lat., 9155 : registre des lettres de maître-ès-arts délivrées par l'Université de Paris, 1er janvier 1660-24 décembre 1678 : 77 v°. Graduation de David Amontons
22. BnF, Fr., 32587, f° 265

ROUEN

Archives départementales de la Seine-Maritime (AD76)

a) Série B : Cours et juridictions

23. Série 4BP : Bailliage et siège présidial de Rouen.
24. Rouen, AD76, 4BP5230 : Cours et juridictions, bailliage et siège présidial de Rouen, scellés et inventaires, Année 1724. spéc. 19 mars 1724. Scellés de David Amontons.

b) Série C : Administrations provinciales

25. Rouen, AD76, C2921 : Administrations provinciales, Administration des domaines, Successions 1575-1790, spéc. 7 juillet 1739.

c) *Tabellionage et notariat de Rouen (2E)*

26. Rouen, AD76, 2E1/70 : Tabellionage de Rouen, répertoires anciens, Répertoires alphabétiques des alliances de familles roturières, Répertoire A-H.
27. Rouen, AD76, 2E1/2106 : Tabellionage de Rouen, Héritages 2eme série, oct.-déc.1613, spéc. 9 octobre 1613. Lots et partages entre Hubert et François Amontons.
28. Rouen, AD76, 2E1/2158 : Tabellionage de Rouen, Héritages 2eme série, oct.-déc. 1626, spéc. 12 déc. 1626. Contrat de mariage entre Hubert Amontons et Thomasse Tiger
29. Rouen, AD76, 2E1/2466 : Tabellionage de Rouen, Tabellions, Abraham Ferment, Héritages, 1649, spéc. 3 mai 1649

30. Rouen, AD76, 2E1/2607 : Minutes de Me Guillaume Liot, jui.-déc. 1670: contrat de mariage de Catherine Amontons et Jean Musnier, 6 novembre 1670.
31. Rouen, AD76, 2E1/2610 : Minutes de Me Guillaume Liot, janv.-juin 1672, spéc. 27 mars 1672, contrat de mariage entre Martin Amontons et Anne Doudet
32. Rouen, AD76, 2E1/2611 : Minutes de Me Guillaume Liot, juil.-déc. 1672, spéc. 9 août 1672. Contrat de constitution de rente, par Jacques Caillet, escuyer, sieur de Sommary, au profit de Marie Amontons, veuve de Christophe de La Haye.
33. Rouen, AD76, 2E1/2658, Minutes de Nicolas Maubert, juil.-déc. 1660. spéc. 2 septembre 1660, Procuration de Guillaume Amontons et Esther du Bié à Roland Amontons.
34. Rouen, AD76, 2E11/13 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1700, spéc. 3 nov 1700. Inventaire après décès de Jacques de La Haye
35. Rouen, AD76, 2E11/14 : Minutes de Me Louis Mauduit, année 1701, spéc. 28 octobre 1701. Lots et partages entre David, Guillaume et Martin Amontons.
36. Rouen, AD76, 2E13/12 : Minutes de Pierre Chrestien, janv.-nov. 1693, spéc. 27 sept. 1693. Contrat de mariage entre Martin Amontons et Marie Madeleine Pellerin.

d) Série F : Travaux de chercheurs et notes d'érudits

1F : Fonds de l'abbé Maurice

37. Rouen, AD76, 1F/13 : Travaux de chercheurs et notes d'érudits, fonds de l'abbé Maurice, Registre de renseignements sur les prêtres du diocèse de Rouen, Flamanvillette, Gruchet-le-Valase.

e) Série G : Clergé séculier avant 1790

38. Rouen, AD76, G 5415 : Clergé séculier avant 1790, Sentence du 28 octobre 1701, 11 p. de texte. Sentence rendue en faveur de Martin, David et Guillaume Amontons, habiles à succéder à défunt Jacques de La Haye

39. Rouen, AD76, G 5419 : Clergé séculier avant 1790, Registre des délibérations de la chambre du clergé du diocèse de Rouen (1724-1733), Immatriculation sur les registres du clergé de Marie-Madelaine Amontons, 19 décembre 1726.
40. Rouen, AD76, G 6130 : Clergé séculier avant 1790, Insinuations ecclésiastiques. Nomination à la cure de Fresne-le-Plan de David Amontons, en remplacement de M. Le Danois, 15 octobre 1672.
41. Rouen, AD76, G. 6133 : Clergé séculier avant 1790, Insinuations ecclésiastiques. Nomination à la cure de Saint-Herbland de Rouen, de David Amontons, 24 juillet 1671
42. Rouen, AD76, G6541 : Clergé Séculier avant 1790, Fonds de la fabrique de Saint-Etienne-des-Tonneliers, Contrat de mariage entre David His et Marguerite Amontons, 7 janvier 1635
43. Rouen, AD76, G6163 : Clergé séculier avant 1790, Insinuations ecclésiastiques. f°338