

Evaluation expérimentale de l'apport, pour une formation d'ingénieurs, d'un simulateur informatique en travaux pratiques de bureau d'études mécaniques

Michaël Huchette

▶ **To cite this version:**

Michaël Huchette. Evaluation expérimentale de l'apport, pour une formation d'ingénieurs, d'un simulateur informatique en travaux pratiques de bureau d'études mécaniques. Education. École normale supérieure de Cachan - ENS Cachan, 2002. Français. NNT : . tel-00136872

HAL Id: tel-00136872
https://theses.hal.science/tel-00136872

Submitted on 15 Mar 2007

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.

THÈSE DE DOCTORAT
DE L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE CACHAN
EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION - DIDACTIQUE

ÉVALUATION EXPÉRIMENTALE DE L'APPORT, POUR UNE FORMATION D'INGÉNIEURS, D'UN SIMULATEUR INFORMATIQUE EN TRAVAUX PRATIQUES DE BUREAU D'ÉTUDES MÉCANIQUES

Thèse présentée par
Michaël HUCHETTE

Sous la direction de
Alain DUREY et Yves CARTONNET

Préparée au
LABORATOIRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE EN ÉDUCATION SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

Soutenue le
2 septembre 2002

Devant le jury composé de :

M. Michel AUBLIN
Inspecteur Général de l'Éducation Nationale en Sciences et Techniques Industrielles

M. Richard BARRUÉ
Professeur des Universités, Institut Universitaire de Formation des Maîtres de l'académie de Créteil

M. Yves CARTONNET (Directeur de thèse)
Professeur des Universités, École Normale Supérieure de Cachan

M. Didier MARQUIS (Rapporteur)
Professeur des Universités, Directeur de l'Institut Français de Mécanique Avancée

M. Jean-Louis MARTINAND (Directeur de jury)
Professeur des Universités, École Normale Supérieure de Cachan

M. Pierre PASTRÉ (Rapporteur)
Professeur du Conservatoire National des Arts et Métiers

A la mémoire d'Alain Durey.

Remerciements

Je remercie vivement Yves Cartonnet pour son accompagnement intellectuel et amical, sans qui cette thèse n'existerait pas. Il est à l'origine du projet de formation « Codimi » et de son évaluation didactique. J'avais le plaisir d'enseigner, il m'a donné en plus le goût pour le développement de nouvelles formations et le goût pour les activités de recherche.

Je remercie Jean-Louis Martinand pour son soutien et son exigence, et Joël Lebeaume pour ses conseils et ses relectures.

Merci à Claudine Larcher, Karim Zaïd et Oktay Adiguzel pour leur aide dans la préparation de la soutenance.

Merci à tous les membres du Laboratoire Interuniversitaire de Recherche en Éducation Scientifique et Technologique, qui contribuent à y nourrir les débats d'idées, mais aussi à animer la vie quotidienne de ce laboratoire.

Merci aux responsables et aux enseignants du Département de Génie Mécanique, qui ont adhéré et participé au projet « Codimi », ainsi qu'aux étudiants en licence de technologie mécanique, qui ont accepté d'être filmés. Ils ont tous contribué à fabriquer la matière des réflexions développées dans cette thèse.

Merci à Diana et à mes parents, qui m'ont soutenu moralement et qui ont organisé la « réception gastronomique » après la soutenance.

Sommaire

INTRODUCTION 10

CHAPITRE I. PROBLÉMATIQUE 14

1. UN CONSTAT : LES PRATIQUES PROFESSIONNELLES DE CONCEPTION ÉVOLUENT 14
1.1. L'ingénierie concourante comme modèle d'organisation 15
1.2. L'informatisation des postes de travail 16
1.3. La normalisation et l'application de nouvelles méthodes 17

2. CODIMI : UNE FORMATION À LA CONCEPTION DISTRIBUÉE DE MACHINES INDUSTRIELLES 18
2.1. Démarche de conception de la formation 18
2.2. Objectifs de la formation 19
2.3. Organisation physique 20
2.4. Le travail à réaliser : concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse 21
2.5. Le déroulement chronologique de la formation 22
2.5.1. Première étape : la veille concurrentielle 22
2.5.2. Deuxième étape : le choix d'un archétype 24
2.5.3. Troisième étape : le dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues 26
2.5.4. Quatrième étape : le choix des solutions constructives et le dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires 26

3. QUELLES NOUVELLES DIFFICULTÉS DES ÉTUDIANTS ? 27

4. PROBLÉMATISATION 28

CHAPITRE II. TÂCHE 1 : DIFFICULTÉS DE LA RECHERCHE DE PRODUITS CONCURRENTS DANS UNE BASE DE DONNÉES HYPERTEXTE POUR LE RÉINVESTISSEMENT EN CONCEPTION 30

1. DESCRIPTION DE LA TÂCHE PRESCRITE 31
1.1. La consigne donnée aux étudiants 31
1.2. Le moyen donné aux étudiants : une base de données hypertexte 31

2. LA PRODUCTION ATTENDUE 34

3. LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE 36

4. HYPOTHÈSES SUR LES SOURCES DE DIFFICULTÉS 37

4.1. Utiliser l'outil informatique pour accéder aux informations contenues dans la base de données 37
4.1.1. Le concept d'instrument 37
4.1.2. Usage des zones hypertextes pour descendre dans l'arborescence de la base 39
4.1.3. Usage du navigateur pour remonter dans l'arborescence de la base 40
4.1.4. Usage du navigateur pour accéder aux informations contenues dans une page 41
4.2. Chercher les informations utiles à réinvestir en conception 43
4.2.1. Les raisonnements en jeu dans une recherche d'informations 43
4.2.2. Penser la veille concurrentielle pour un réinvestissement en conception 45
4.2.3. Garder en mémoire le but à atteindre 45
4.2.4. Sélectionner les pages et les paragraphes à lire par anticipation de leur contenu en informations 46
4.3. Partager l'utilisation de la base de données et coordonner ses actions avec celles des autres 49
4.4. Bilan des hypothèses 50

5. MÉTHODOLOGIE 51
5.1. Population observée 51
5.2. Description du dispositif d'observation 52
5.2.1. Mesure de la production effective des étudiants 52
5.2.2. Mesure des méthodes mises en œuvre et validation des hypothèses 53
5.2.3. Mesure de la compréhension de la consigne 55
5.3. Traitement des films 55
5.3.1. Grille de retranscription 56
5.3.2. Représentation graphique de la navigation 56

6. RÉSULTATS : DIFFICULTÉS ET SOURCES DE DIFFICULTÉS OBSERVÉES 59
6.1. Productions effectives des étudiants 59
6.2. Méthodes mises en œuvre par les étudiants 60
6.2.1. Écarts entre méthodes effectives et méthode de référence 60
6.2.2. Écarts de méthode à l'origine des écarts de production 61
6.3. Difficultés à utiliser l'outil informatique pour accéder aux informations contenus dans la base de données 62
6.3.1. Une utilisation pas optimale du navigateur pour remonter dans l'arborescence de la base de données 63
6.3.2. Les indications fournies par l'ascenseur ne sont pas systématiquement utilisées 64
6.3.3. La fonctionnalité de " recherche par mot-clef" n'est jamais utilisée 65
6.4. Difficultés à trouver les informations utiles pour la veille concurrentielle 65
6.4.1. Les étudiants donnent du sens à la veille concurrentielle, malgré quelques résistances 65
6.4.2. Un critère d'évaluation inattendu : le prix 66
6.4.3. Du butinage à la sélection systématique abusive 67

6.4.4. Une mauvaise anticipation du contenu des pages annoncées 68
6.4.5. Une mauvaise traduction de l'anglais conduit les étudiants à éliminer un produit, à tors 71
6.5. Difficultés à partager l'utilisation de la base de données et coordonner ses actions avec celles des autres 71

7. BILAN ET DISCUSSION 73
7.1. Bilan des difficultés 73
7.2. Étalonnage des mesures 74
7.3. Trois méthodes de recherche 75
7.4. Représentation des activités de conceptions et capacité de proposition 76

CHAPITRE III. TÂCHE 2 : DIFFICULTÉS DE LA CONCEPTION COLLECTIVE D'UNE SOUS-STRUCTURE DE MACHINE 78

1. DESCRIPTION DE LA TÂCHE PRESCRITE 79
1.1. La consigne donnée aux étudiants : dessiner le plan d'avant-projet 79
1.2. Les performances de la machine à concevoir sont indiquées dans la cahier des charges 80
1.3. La définition initiale de la machine : le schéma cinématique dimensionné. 81

2. LA PRODUCTION ATTENDUE 81

3. LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE 83

4. HYPOTHÈSES SUR LES SOURCES DE DIFFICULTÉS 83
4.1. Les capacités de conception 84
4.2. Proposer des solutions techniques 84
4.2.1. Le réinvestissement d'associations milieu-produits 85
4.2.2. Anticiper les collisions et interférences de montage grâce au plan d'ensemble 87
4.3. Évaluer les solutions techniques proposées 88
4.1.1. Simuler les collisions et les interférences de montage grâce au plan d'avant-projet 90
4.1.2. Exploiter les résultats de calculs 91
4.4. Difficultés à effectuer un choix collectif à partir des propositions et des évaluations de chacun 91
4.4.1. Communiquer la description de solutions techniques 92
4.4.2. Trouver un équilibre socio-cognitif 92
4.4.3. Décider grâce aux évaluations 94
4.5. Bilan des hypothèses 95

5. MÉTHODOLOGIE 95
5.1. Population observée 96
5.2. Description du dispositif d'observation 96
5.2.1. Mesure de la production des étudiants 96
5.2.2. Mesure des méthodes mises en œuvre et validation des hypothèses 97
5.3. Traitement des films 99

5.3.1. Actigrammes 99
5.3.2. Représentations de la prise en charge des sous-structures 100
5.3.3. Représentation du réseau de communication 101
5.3.4. Diagramme d'actualisation 102

6. RÉSULTATS : DIFFICULTÉS ET SOURCES DE DIFFICULTÉS OBSERVÉES 103
6.1. Productions effectives des étudiants 103
6.2. Méthodes mises en œuvre par les étudiants 104
6.3. Difficultés à proposer des solutions techniques 105
6.3.1. Une démarche déductive de conception conduit deux groupes à proposer des solutions abstraites sans rapport avec aucune solution industrielle 106
6.3.2. Une mauvaise connaissance des modes de défaillance 106
6.3.3. 2 groupes sur 3 n'utilisent pas les bases de solutions industrielles 107
6.4. Difficultés à évaluer des solutions techniques proposées 107
6.4.1. Des collisions et des interférences de montage, simulées sur le plan d'ensemble, sont pourtant dessinées 107
6.4.2. Les résultats de calcul parfois mal exploités 108
6.5. Difficultés à faire un choix collectif 109
6.5.1. L'hétérogénéité des connaissances des étudiants d'un groupe peut conduire à des problèmes de communication et à la mise à l'écart d'un étudiant 109
6.5.2. Des rôles et des spécialisations des étudiants 111
6.5.3. Les choix de solutions techniques finalement retenues ne sont pas faits selon les critères d'évaluation 114

7. BILAN ET DISCUSSION 115
7.1. Bilan des difficultés 115
7.2. La connaissance des associations milieu-produits 116

CHAPITRE IV. TÂCHE 3 : DIFFICULTÉS DE LA CONCEPTION DES INTERFACES 118

1. DESCRIPTION DE LA TÂCHE PRESCRITE 118
1.1. La consigne et les données de départ 118
1.2. Les outils de communication à distance 119

2. LA PRODUCTION ATTENDUE 120
2.1. Deux dessins complémentaires 120
2.2. Proposition d'une typologie des interfaces 120
2.3. Cas particulier de la pompe doseuse : les interfaces que les étudiants doivent définir 121

3. LA MÉTHODE DE RÉFÉRENCE 122

4. HYPOTHÈSES SUR LES SOURCES DE DIFFICULTÉS 124
4.1. Anticiper les problèmes d'incompatibilités aux interfaces 124
4.1.1. Anticiper le lieu des interfaces pour se coordoner avec le groupe jumelé 124

4.1.2. Anticiper les problèmes d'incompatibilités en tant que modes de défaillance possibles 125
4.2. Communiquer les paramètres déterminant l'interface 126
4.2.1. Utiliser un langage précis et compréhensible par tous pour communiquer la description d'une solution technique 126
4.2.2. Utiliser les outils de communication 127
4.3. Bilan des hypothèses 130

5. MÉTHODOLOGIE 131
5.1. Population observée 131
5.2. Dispositif d'observation 131
5.2.1. Mesure de la production des étudiants 131
5.2.2. Mesure de la méthode suivie 132
5.3. Traitement des films 134

6. RÉSULTATS : DIFFICULTÉS ET SOURCES DE DIFFICULTÉS 135
6.1. Les productions effectives des étudiants 135
6.2. Les méthodes mises en œuvre par les étudiants 136
6.3. Difficultés d'anticipation des interfaces 137
6.3.1. Les lieux des interfaces est peu anticipé 138
6.3.2. Des incompatibilités aux interfaces ne sont pas considérées comme défaillances possibles 141
6.4. Difficultés de communication 142
6.4.1. L'utilisation d'un langage équivoque conduit au dessin de solutions techniques incompatibles 142
6.4.2. Les outils de communication ne sont pas utilisés de manière efficace 143

7. BILAN ET DISCUSSION 144
7.1. Bilan des difficultés 144
7.2. Le concept d'interface et le mode de défaillance « incompatibilité à l'interface » 145

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES 146

BIBLIOGRAPHIE 150

BIBLIOGRAPHIE CLASSÉE 156

1. RÉFÉRENCES SUR LES PRATIQUES PROFESSIONNELLES DE CONCEPTION (TÉMOIGNAGES, STATISTIQUES, GESTION) 156

2. RÉFÉRENCES ÉPISTÉMOLOGIQUES ET PHILOSOPHIQUES 157

3. RÉFÉRENCES PSYCHOLOGIQUES, ERGONOMIQUES ET SOCIOLOGIQUES 158

4. RÉFÉRENCES PÉDAGOGIQUES ET DIDACTIQUES 160

TABLE DES ILLUSTRATIONS 163

TABLE DES TABLEAUX.....165

SOMMAIRE DES ANNEXES.....167

Introduction

Notre travail s'inscrit dans les travaux du Laboratoire Interuniversitaire de Recherche en Éducation Scientifique et Technologique, et en particulier dans le prolongement des travaux d'Yves Cartonnet sur la définition des contenus d'enseignement pour la formation de concepteurs aux niveaux de 2 à 5 ans après le baccalauréat et les conditions de leur apprentissage.

Nous nous intéressons donc à l'enseignement technologique du supérieur, dont le but est de former des élèves ingénieurs à la conception mécanique, dans un registre de participation. Je ne m'intéresse donc pas à l'éducation technologique, dont les objectifs possibles sont de former des citoyens et des utilisateurs, et de contribuer à l'orientation scolaire des jeunes. Je ne m'intéresse pas non plus à l'enseignement professionnel, qui a pour objectif l'insertion professionnelle et la spécialisation. Celui-ci comprend des périodes de stages en entreprise, où l'apprenti exécute les gestes du métier en situation.

Notre travail sera basé sur le cas particulier de la formation « Codimi », une formation à la **Co**nception **di**stribuée de **m**achines **i**ndustrielles de 20 heures, suivie depuis 1999 par les étudiants de licence de technologie mécanique à l'École Normale Supérieure de Cachan. Elle consiste à simuler un travail de conception d'avant-projet d'une pompe doseuse, en suivant les mêmes étapes que celles suivies en entreprise industrielle, en utilisant des outils informatiques et en respectant une organisation de travail industriels. Le « simulateur informatique » annoncé dans le titre de la thèse désigne cette formation « Codimi ».

Notre travail consiste à évaluer cette formation nouvelle. Les étudiants que nous avons observés sont en situation réelle d'enseignement, et non en situation expérimentale de laboratoire, dans des conditions qui auraient été préparées selon un plan d'expérience. Par « expérimentale », dans le titre de la thèse, c'est cette évaluation empirique que nous qualifions, basée sur des observations d'étudiants en situation de formation.

Qu'allons nous évaluer exactement ? Quel est notre objet de recherche ? Dans le panorama des recherches sur l'innovation en éducation et formation, dressé par Françoise Cros (Cros, 1998, p. 19), notre questionnement ne porte ni sur le «processus d'innovation » qui a consisté à concevoir cette formation par des acteurs particuliers dans un contexte particulier, ni sur le « transfert d'une innovation » à un système éducatif, ni sur « l'origine » de cette innovation, autrement dit la naissance de l'idée première de faire cette formation. Il porte sur « le nouveau et ses qualités » dans cette formation Codimi, c'est-à-dire sur les nouvelles tâches prescrites aux étudiants, par rapport aux travaux pratiques de bureau d'études mécaniques antérieurs. Notre objet de

recherche est l'ensemble des difficultés auxquelles sont confrontés les étudiants lorsqu'ils effectuent ces nouvelles tâches. Pour caractériser cet objet, « les difficultés des étudiants », qu'allons nous observer, et quels points de vue, quels cadres théoriques allons nous adopter ?

Avant de répondre à ces questions, notons d'abord que nous posons comme postulat qu'il existe une relation de causalité réciproque entre réussite dans l'action et apprentissage. En effet, la réussite dans l'action est à l'origine d'une « conceptualisation » par « prises de conscience ultérieures » (Piaget, 1974, p. 232). Elle est donc cause d'apprentissages. Réciproquement, évidemment, l'apprentissage mène vers une efficacité de l'action, donc la réussite. Notamment, «la conceptualisation fournit à l'action […] un renforcement de ses capacités de prévision et la possibilité, en présence d'une situation donnée, de se donner un plan d'utilisation immédiate » (Piaget, 1974, p. 234).

Partant de ce postulat, l'accès le plus direct à notre objet « difficultés des étudiants » est l'observation des activités des étudiants et de leurs productions, autrement dit ce qu'ils font pour effectuer ces tâches. Quand dirons-nous qu'ils ont des difficultés ? Quand ils « feront » différemment de « ce que l'on attendait » et quand le résultat de leur action (leur production) sera différent de « ce que l'on attendait ».

« Ce que l'on attendait », c'est ce qui était prévu par les concepteurs de la formation Codimi, de manière plus ou moins implicite, lorsqu'ils ont construit les tâches prescrites, en définissant les consignes et les moyens mis à la disposition des étudiants. Pour l'expliciter, nous devrons prendre un point de vue épistémologique. Nous déterminerons ainsi, pour les tâches nouvelles, ce qu'il est pertinent de faire, comment le faire et quel résultat obtenir, en prenant comme référence les pratiques professionnelles industrielles contemporaines de conception de produits.

Afin de préparer l'analyse des données d'observation des étudiants, nous voulons prévoir les sources possibles de difficultés. Et au-delà d'une description de faits attestant de difficultés, nous voulons aussi les comprendre et les expliquer. Pour atteindre ces deux buts, nous adopterons plusieurs points de vues théoriques. Des concepts et des résultats empiriques en psychologie cognitive nous permettront d'analyser les difficultés particulières de l'utilisation des outils informatiques. Des concepts et des résultats empiriques en pédagogie et en psychosociologie nous aideront à analyser les difficultés dues au travail en groupe. Nous laissons de côté les explications mettant en jeu le rapport au savoir, parce qu'elles nous semblent a priori mal adaptées à la population étudiée : des étudiants en licence de technologie mécanique à l'École Normale Supérieure de Cachan, donc âgés d'environ 21 ans et plutôt en réussite scolaire, car ils ont fait l'objet d'une sélection assez sévère pour accéder à cette formation.

Les enjeux de la thèse pour l'enseignement de la conception de produits industriels sont la définition des conditions d'apprentissage dans les nouveaux travaux pratiques de bureau d'études mécaniques et la proposition d'outils d'aide au diagnostic pour les enseignants.

Le présent mémoire développe de quelle manière nous avons atteint les objectifs précédents. Il est constitué de cinq chapitres et d'une bibliographie.

Le chapitre I précise les enjeux de la thèse, notre question de recherche et la problématisation de cette question afin d'y répondre.

Nous partons d'un constat : les pratiques professionnelles de conception évoluent, parce que l'organisation du travail dans les entreprises change, parce que les postes de travail s'informatisent et parce que de nouvelles méthodes formalisées sont appliquées. Pour assurer la pertinence des contenus d'enseignement par rapport à ces pratiques professionnelles prises comme référence, il est nécessaire de prendre en compte ces évolutions dans les formations à la conception.

Nous décrivons à ce propos la formation Codimi que nous avons contribué à mettre en place à l'École Normale Supérieure de Cachan en 1998 et 1999, et qui est le terrain d'expérimentation de la thèse. C'est une formation à la conception distribuée de machines industrielles, qui vise l'apprentissage de capacités correspondant aux trois évolutions des pratiques professionnelles énoncées auparavant. Les étudiants y effectuent donc des activités nouvelles par rapport aux travaux pratiques de bureau d'études mécaniques antérieurs.

Notre but est de répondre, de manière empirique, à la question suivante : quelles sont les difficultés rencontrées par les étudiants dans les nouvelles activités de conception ? Nous avons choisi de nous limiter à trois tâches de conception particulièrement nouvelles de la formation Codimi : la recherche de produits concurrents dans une base de données hypertexte (tâche n°1), la conception collective d'une sous-structure de machine (tâche n°2), et la conception à distance des interfaces entre deux sous-structures d'une machine, à la charge de deux groupes différents (tâche n°3).

Nous présentons ensuite notre démarche de problématisation. Elle consiste d'abord à préciser la production attendue et formuler une méthode de référence pour effectuer la tâche, d'un point de vue épistémologique et en référence aux pratiques professionnelles. La méthode de référence est un ensemble cohérent d'actions, plutôt qu'une procédure, qu'il faut savoir faire pour effectuer la tâche « correctement ». Elle est à la fois une méthode attendue et une méthode à apprendre. Puis nous précisons les capacités en jeu dans cette tâche et nous posons des hypothèses de sources de difficultés, à partir de travaux de recherche en psychologie cognitive, en pédagogie et en psychosociologie.

Les chapitres II, III et IV présentent le développement de la démarche décrite ci-dessus et les résultats associés, concernant les difficultés rencontrées par les étudiants respectivement dans la tâche n°1, la tâche n°2, et la tâche n°3.

Ces trois chapitres sont tous structurés de la façon suivante. La section 1 décrit précisément la tâche prescrite aux étudiants, c'est-à-dire la consigne et les moyens qui

leur sont donnés. On en déduit, en section 2, la production attendue des étudiants. Dans la section 3, nous définissons la méthode de référence pour la tâche en question. Ensuite, en section 4 nous formulons les hypothèses de sources de difficultés. La méthodologie (section 5) montre comment le dispositif d'observation a été choisi pour mesurer les productions effectives des étudiants, les méthodes qu'ils ont mises en œuvre et pour valider les hypothèses de sources de difficultés énoncées précédemment. Nous présentons ensuite les résultats (section 6) et nous les discutons (section 7).

Pour conclure le mémoire, nous proposons, dans le chapitre V, une synthèse de l'ensemble des résultats et nous proposons certaines perspectives pour la formation des concepteurs de machines industrielles.

Enfin, la bibliographie et la bibliographie classée présentent la liste des livres et des articles cités dans ce mémoire de thèse.

Chapitre I.

Problématique

Nous nous intéressons aux formations technologiques de concepteurs de produits industriels, techniciens et ingénieurs spécialisés dans le génie mécanique. Les contenus des enseignements technologiques sont définis en références aux réalités industrielles, comme l'écrivent Jean-Louis Martinand et Yves Cartonnet (Martinand, 1985, Cartonnet et Martinand, 2000), et les pratiques de référence sont pour nous les pratiques de conception dans les bureaux d'études des entreprises de production de machines ayant une partie opérative. L'annexe 5 précise, par des données statistiques de l'INSEE, les secteurs d'activités concernés. Ce sont de loin les secteurs de l'automobile, puis de l'aérospatiale et l'aéronautique qui emploient le plus de personnes, parmi les secteurs d'intervention du génie mécanique.

Or ces entreprises industrielles changent et, en leur sein, les pratiques de conception aussi. Nous précisons ci-dessous en quoi consistent ces changements. Nous en tirons ensuite des conséquences pour les formations à la conception, qui doivent prendre en compte ces évolutions.

1. Un constat : les pratiques professionnelles de conception évoluent

D'après une enquête réalisée par le ministère de l'économie, des finances et de l'industrie et le ministère de l'agriculture et de la pêche en 1997 dans 3205 entreprises de l'industrie manufacturière française, (analysée dans Gollac M., Greeman N. et Hamon-Cholet D., 2000), quatre raisons motivent les entreprises industrielles françaises à changer, en quête d'une meilleure compétitivité : assurer la qualité des produits, diminuer les délais entre commandes et livraisons, faire face aux fluctuations des demandes et impliquer la main-d'œuvre.

Nous montrons ci-dessous que, pour répondre à ces besoins, les pratiques professionnelles de conception connaissent trois changements. Le premier changement concerne l'organisation du travail.

1.1. L'ingénierie concourante comme modèle d'organisation

Le tableau ci-dessous montre que de nouveaux dispositifs organisationnels ont fait leur apparition dans les entreprises industrielles.

Tableau 1 : Nouveaux dispositifs organisationnels (données provenant de Gollac et al., 2000)

Dispositif organisationnel	Taux d'utilisation (en 1997)*	Utilisation en croissance (entre 1994 et 97)**
Sous-traitance	56%	20%
Équipes ou groupes de projet (avec implication de plus de 10% du personnel)	22%	Inconnu

* proportion d'entreprises de l'industrie manufacturière française qui utilisent le dispositif désigné dans la première colonne, sur un échantillon de 3205
** proportion d'entreprises manufacturières françaises dans lesquelles l'utilisation du dispositif a été en augmentation

L'utilisation de tels dispositifs influe sur l'organisation du travail des concepteurs. Le travail en groupe projet et la sous-traitance impose que le concepteur travaille avec des spécialistes de différents domaines et de différentes parties de la machine.

Une telle évolution est aussi décrite par de nombreux témoignages d'acteurs en entreprise, de spécialistes de la conception et d'ergonomes (Prudhomme et Brissaud, 2000, Bossard, Chanchevrier et Leclair, 1997, De Terssac et Friedberg, 1996, Darses, 1997). L'organisation des entreprises industrielles tend aujourd'hui vers le modèle de l'*ingénierie concourante.*

Et cela influence l'organisation du travail des concepteurs de bureaux d'études. Ainsi Françoise Darses (Darses, 1997), qui analyse les activités cognitives de conception, distingue, dans les pratiques d'ingénierie concourante, les moments de « conception distribuée » des concepteurs, et les moments de « co-conception ».

> « Deux types de situations de coopération […] sont à l'œuvre dans les organisations en ingénierie concourante : les situations de *conception distribuée* et les situations de *co-conception*. Dans les situations de conception distribuée, les acteurs du process sont simultanément – mais non conjointement – engagés à coopérer ; ils accomplissent des tâches préalablement allouées et poursuivent donc des buts […] qui leur sont propres […]. Ces phases de conception distribuée sont entrecoupées de réunions d'avancement du projet, au cours desquelles sont confrontés, débattus et rendus cohérents les travaux de chaque équipe […]. Ces phases de mise en commun [sont les] phases de *co-conception* » (Darses, 1997, p. 51 et 52).

Jean-Claude Moisdon et Benoît Weil (1992), eux aussi, font un découpage du même ordre des problèmes ou « questions » à traiter lors de la conception d'une voiture.

> « On peut […] constituer deux grandes catégories [de questions] : celles que pose le fonctionnement interne d'un sous-ensemble technique, et celles qui surgissent quand on souhaite intégrer un sous-ensemble dans l'environnement de la voiture. […] Cependant la

> distinction entre ces deux types de questions ne peut pas toujours être maintenue : une modification liée au fonctionnement interne d'un sous-ensemble peut avoir des conséquences sur l'environnement et obliger à renégocier certaines contraintes avec celui-ci ; a contrario la résolution d'un problème d'interface peut passer par la transformation du fonctionnement interne d'un composant » (Moisdon et Weil, 1992a, p. 36).

Bertrand Nicquevert (2000), concernant la conception d'un détecteur de particules au CERN, distingue les activités de « conception » des activités de « coordination » :

> « Il nous paraît nécessaire de distinguer […] les activités de conception (liées à la conception et à la production d'éléments de détecteurs) des activités de coordination (qui visent à assurer la compatibilité des éléments entre eux, et la réalisation de fonctions globales telles que services, accès et maintenance, sécurité, …) » (Nicquevert, 2000).

En synthèse de ces descriptions, trois capacités de conception distinctes semblent donc découler d'une organisation selon le modèle de l'ingénierie concourante :

- La capacité à expliquer ses problèmes de conception à des spécialistes d'autres domaines d'action sur le produit (en particulier la fabrication) et la capacité à comprendre les problèmes techniques énoncés par ces spécialistes, spécifiques à leur domaine.
- La capacité à concevoir les interfaces entre différentes parties de la machine, conçues par différents concepteurs, c'est-à-dire à s'assurer de leur compatibilité.
- La capacité à concevoir en groupe une partie de la machine dont le groupe a la responsabilité.

Le deuxième changement qui touche les pratiques professionnelles de conception est l'informatisation des postes de travail.

1.2. L'informatisation des postes de travail

Les deux tableaux suivants présentent des données statistiques qui caractérisent les usages réels des outils informatiques dans les entreprises et en particulier dans les bureaux d'études.

De ces données, il ressort qu'un concepteur doit maîtriser quatre types d'outils informatiques : les outils de recherche d'informations, les outils de simulation des comportements physico-chimiques par le calcul, les outils de représentation, et les outils de communication et de transfert de données.

Tableau 2 : Utilisation des outils informatiques dans les entreprises industrielles (données provenant de Gollac et al., 2000)

Outil informatique	Taux d'utilisation (en 1997)*	Utilisation en croissance (entre 1994 et 97)**
Transferts informatiques de données entre conception et production	44%	16%
Transferts informatiques de données entre conception et fournisseurs	8%	11%
Utilisation d'Internet pour la messagerie électronique	36%	36%
Utilisation d'Internet pour la recherche d'informations	42%	42%

* proportion d'entreprises de l'industrie manufacturière française qui utilisent le dispositif désigné dans la première colonne, sur un échantillon de 3205

** proportion d'entreprises de l'industrie manufacturière française dans lesquelles l'utilisation du dispositif a été en augmentation

Tableau 3 : Equipement informatique des bureaux d'études en France (données provenant de Préveraud, 1998)

Outil informatique	Taux de BE équipés
Dessin Assisté par Ordinateur	78%
Conception Assistée par Ordinateur	66%
Logiciel de calcul	37%
Schématique	31%
Prototypage rapide	6%

1.3. La normalisation et l'application de nouvelles méthodes

Enfin, une autre évolution des pratiques industrielles, ayant pour but de gérer les problèmes de qualité, est l'utilisation de systèmes de certification, de garanties de qualité, des méthodes d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle. Les méthodes d'analyse de la valeur et d'analyse fonctionnelle, qui concernent les bureaux d'études, étaient utilisées dans 33% des entreprises manufacturières de plus de 50 salariés en 1997, avec une augmentation de leur utilisation dans 21% d'entre elles (d'après Gollac et al., 2000).

Mais des analyses des applications réelles de la méthode de l'analyse fonctionnelle, pour proposer des solutions techniques innovantes, (Darses, 1997 et Prudhomme, 1999) montrent qu'elles ne sont pas effectives et que cette méthode est mal adaptée au processus cognitif spontané de conception des professionnels. Cependant, l'analyse fonctionnelle est une méthode au cours de laquelle sont produits des documents standards, qui servent de contrats (tel que le cahier des charges fonctionnel) et de moyens de communication entre les acteurs d'un même projet. Nous pensons donc qu'elle doit être connue par un concepteur.

Par ailleurs, la méthode de l'analyse de la valeur, est un outil d'aide à la décision collective. Elle oblige les différents acteurs, pas forcément spécialistes du même domaine, d'exprimer les contraintes sur le produit en cours de conception, et les critères d'évaluation des solutions proposées. C'est une méthode qui rationalise la conception concourante. C'est pourquoi nous pensons qu'un concepteur doit aussi connaître cette méthode.

Nous avons décrit trois évolutions importantes des pratiques professionnelles de conception, et nous avons identifié des capacités qu'il sera nécessaire d'enseigner si l'on souhaite former les futurs concepteurs. C'est une partie de ces capacités de conception que nous avons visées dans la formation Codimi, décrite ci-dessous.

2. Codimi : une formation à la conception distribuée de machines industrielles

Codimi a été définie par six enseignants du département de génie mécanique de l'École Normale Supérieure de Cachan en 1998-99. Ces six enseignants sont : Yves Cartonnet, coordinateur du projet, maître de conférences en didactique ; Bernard Douchin, agrégé de mécanique, doctorant en mécanique ; Anthony Gravouil, agrégé de mécanique, doctorant en mécanique ; Didier Marquis, professeur des universités en mécanique ; Bruno Soulier, maître de conférences en mécanique ; Michaël Huchette, agrégé de mécanique, doctorant en didactique (statuts et fonctions en 1998).

2.1. Démarche de conception de la formation

Pour assurer la pertinence des contenus d'enseignement par rapport aux pratiques professionnelles, Codimi a été construite comme une simulation des pratiques de conception lors d'un projet de conception d'un nouveau produit. Les caractéristiques de la formation qui ont été prises des réalités industrielles sont les suivantes :

- L'objet technique à concevoir est une pompe doseuse, machine qui est produite de manière industrielle. De nouveaux modèles de pompes doseuses sont encore effectivement conçus aujourd'hui (par exemple le constructeur Dosapro Miltonroy a sorti une nouvelle gamme en 2001).
- Les outils utilisés : ordinateur, logiciel de calcul pour l'ingénieur (Mathcad), base de données hypertexte, messagerie électronique (chat), poste de visioconférence avec banc-titre.
- L'organisation du travail : conception distribuée, méthode de l'analyse de la valeur, étapes d'un projet de conception.

La nature et la chronologie des étapes de la conception sont basées sur la démarche de conception de l'entreprise Dosapro Miltonroy, qui conçoit, fabrique et commercialise des pompes doseuses. Cette entreprise est une filiale de la multinationale Miltonroy. Elle compte 250 employés et se situe à Pont-Saint-Pierre, en Normandie. La conception de la formation a profité d'une visite d'une journée de l'entreprise, des bureaux d'études aux ateliers de production et d'un entretien avec le directeur du service de recherches et développements au sujet de la démarche de conception d'un nouveau produit.

Les étapes de la conception d'une nouvelle gamme de pompes chez Dosapro sont les suivantes :

1. Analyse du marché par le service marketing et décision de la hiérarchie de lancer la conception d'un nouveau produit ou d'une nouvelle gamme de produits
2. Établissement d'un cahier des charges
3. Veille concurrentielle
4. Choix d'un principe de pompe
5. Dimensionnement de "la mécanique" : choix du moteur, de la tête de dosage et des dimensions de l'architecture pour assurer les performances voulues
6. Conception détaillée.

La chronologie et le découpage de la formation Codimi ont été choisis en suivant ces étapes, à partir de l'étape 3. Nous donnons le déroulement chronologique de Codimi au paragraphe 2.5, et, de manière plus détaillée, en annexe 1.

Par ailleurs, des discussions téléphoniques avec des techniciens du bureau d'études de l'entreprise ont aussi permis de préciser la démarche de dimensionnement des pièces d'une pompe doseuse. En particulier, ont été identifiées les décisions qui sont prises par expérience, qu'un novice ne peut prendre a priori.

Enfin, pour rendre compte du panorama des pompes doseuses existantes sur le marché mondial, et pour faire utiliser les moyens informatiques actuels, une base de données hypertexte a été préparée. Elle contient les documentations techniques et commerciales des constructeurs de pompes doseuses et permet d'effectuer une veille concurrentielle.

2.2. Objectifs de la formation

La formation Codimi a trois objectifs.

Le premier est de faire vivre aux étudiants une succession d'activités constituant une démarche de conception, issue de nos entretiens avec le personnel de l'entreprise Dosapro.

Le deuxième objectif est d'apprendre aux étudiants à maîtriser l'usage des outils informatiques professionnels : les étudiants utilisent une base de données techniques sur Internet, un logiciel de calculs pour l'ingénieur (mathcad), un logiciel de dialogue par écrit (ICQ) et un poste de visioconférence avec banc-titre en réseau haut débit. Le

troisième objectif consiste à amener les étudiants à penser la conception d'un produit industriel comme une activité collective par la maîtrise de la notion d'interface entre deux sous-structures de la machine conçues par deux concepteurs différents : les étudiants doivent apprendre à définir les interfaces et à communiquer à leur propos.

2.3. Organisation physique

Une promotion d'étudiants de la licence de technologie mécanique est divisée en six groupes d'environ quinze étudiants. Ces groupes se trouvent dans deux bâtiments distants d'une centaine de mètres et sont jumelés deux à deux (voir figure 1). Dans chaque groupe de quinze sont constitués des groupes de deux à trois étudiants. Chacun de ces groupes travaille à distance avec trois autres étudiants. Ils forment donc des unités de travail de six étudiants. Les deux groupes constituant une unité de travail peuvent communiquer par messagerie électronique (chat) et par visioconférence. Les postes de visioconférence sont munis d'un banc-titre qui permet de retransmettre l'image d'un document disposé sur la table. Ils disposent de plus du logiciel de calcul Mathcad et d'une base de données en réseau sur les pompes doseuses existantes.

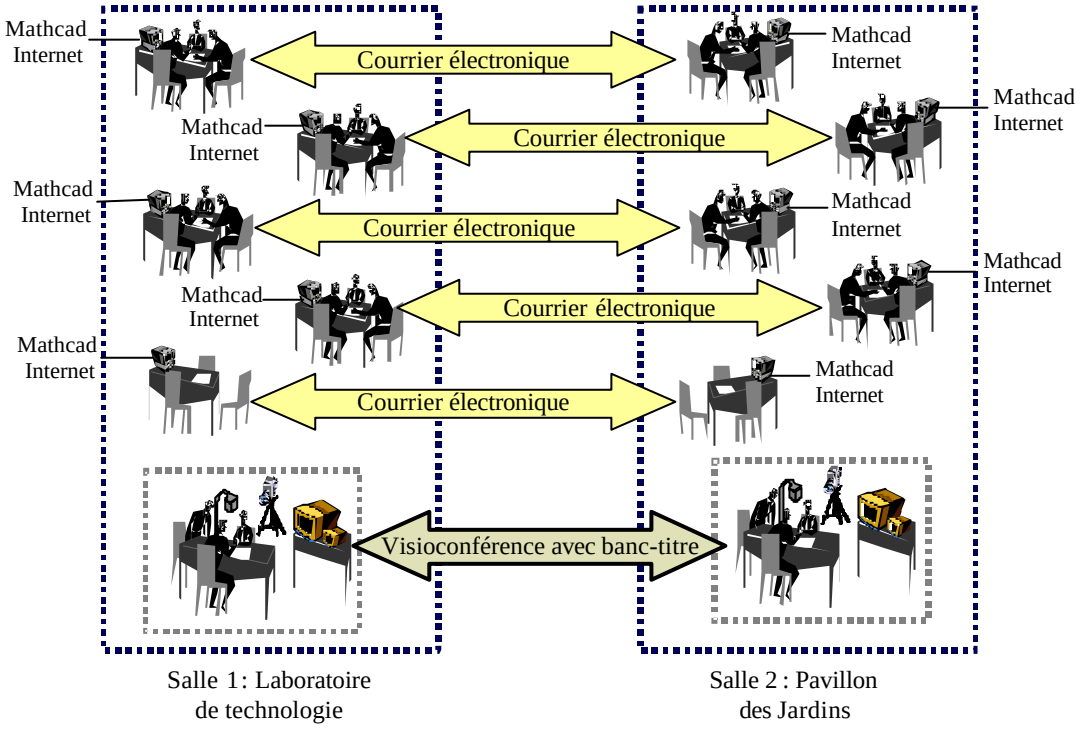


Figure 1 : Organisation matérielle de la formation Codimi

2.4. Le travail à réaliser : concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse

Le travail demandé aux étudiants est de concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse qui permet d'envoyer du méthanol en fond de puits de pétrole à partir d'une plate-forme pétrolière. Le méthanol sert en effet d'antigel et permet d'éviter les bouchons lors de la remontée en surface du pétrole, qui gèle à cause de la décompression des gaz qu'il contient. La pompe devra assurer un débit réglable de 20 litres par heure maximum sous une pression de refoulement de 400 bars.

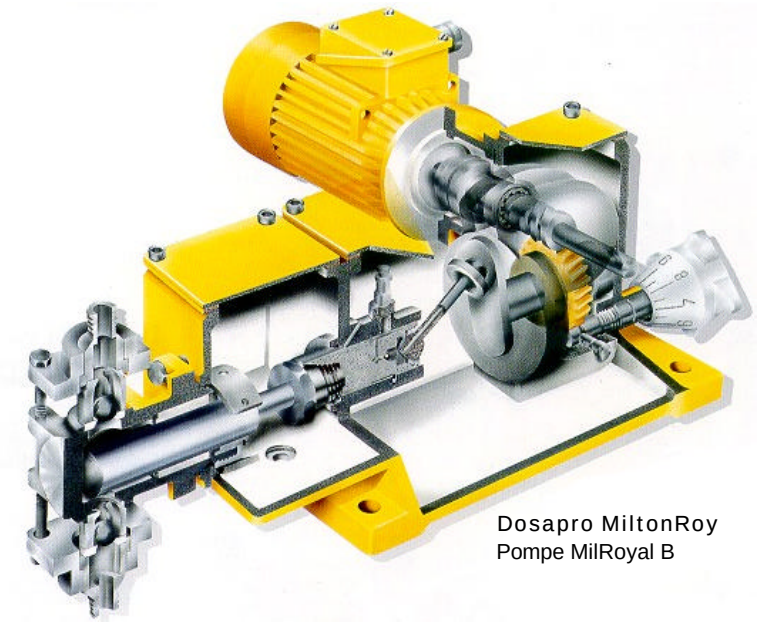


Figure 2 : Ecorché d'une pompe doseuse dont l'archétype est le système bielle-manivelle à plateau incliné

Chaque trinôme travaille d'abord quatre heures à une recherche documentaire des pompes doseuses existantes dans un but de veille concurrentielle, hors coopération. Ensuite, pendant seize heures (deux fois huit heures consécutives), deux trinômes jumelés travaillent selon un protocole de conception distribuée. L'un s'occupe de la chaîne de transformation de puissance, constituée du moteur électrique, de l'accouplement élastique, du réducteur, du système de transformation de mouvement, du coulisseau et de la cellule de dosage. L'autre s'occupe de la conception du carter et du système de réglage du débit avec blocage. Chaque trinôme produit le plan d'avant-projet de la partie de la pompe doseuse dont il a la responsabilité, sur une feuille de calque millimétrée.

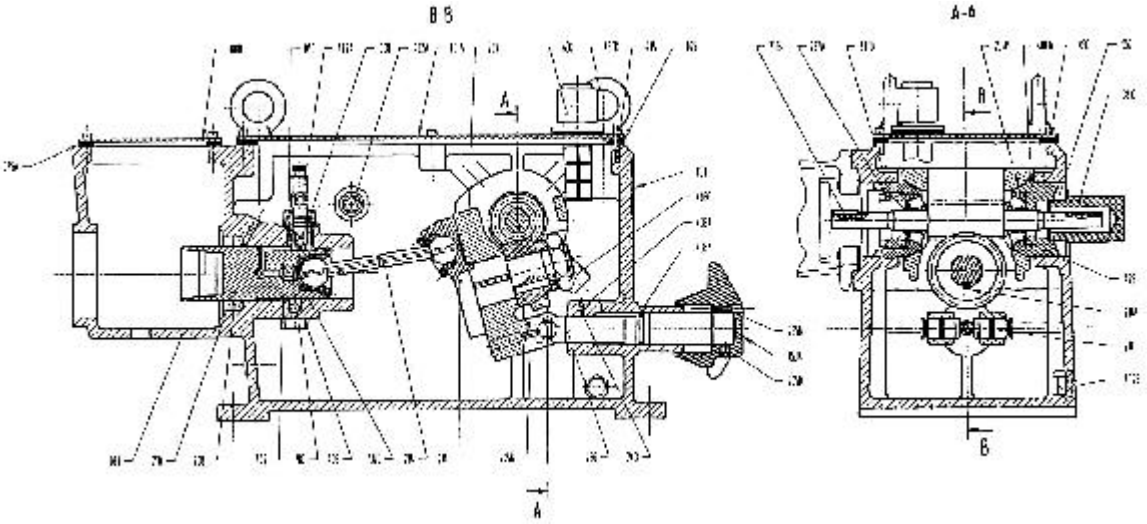


Figure 3 : Exemple de productions attendues, les parties jaune et bleue se complétant par superposition des feuilles de calques

2.5. Le déroulement chronologique de la formation

La formation, qui dure 20 heures, a été découpée en 5 séances de 4 heures, en suivant les étapes de conception d'un nouveau produit dans l'entreprise Dosapro Miltonroy décrites au paragraphe 2.1. Son déroulement chronologique est résumé dans le tableau 1.

Tableau 4 : Déroulement chronologique de la formation Codimi

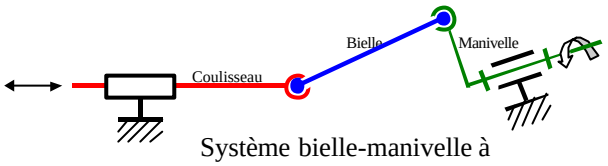
Séance n°1 (4h)	Lecture du cahier des charges Veille concurrentielle (voir §2.4.1)
Séance n°2 (4h)	Choix d'un archétype de pompe doseuse (voir §2.4.2) Dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues (voir §2.4.3)
Séance n°3 (4h)	Dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues (suite)
Séance n°4 (4h)	Choix des solutions constructives et dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires (voir §2.4.4)
Séance n°5 (4h)	Choix des solutions constructives et dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires (suite) Rassemblement final dans la même salle pour vérifier la compatibilité des solutions dessinées par les groupes jumelés

Nous précisons ci-dessous les tâches prescrites aux groupes d'étudiants à chacune des étapes.

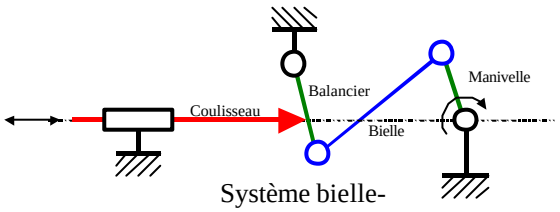
2.5.1. Première étape : la veille concurrentielle

La veille concurrentielle a pour but de trouver les archétypes des pompes doseuses vendues sur le marché qui sont compatibles avec le cahier des charges fixé par le service marketing, afin de s'en inspirer pour concevoir la pompe doseuse. Nous appelons "archétype" le principe cinématique d'une machine et son architecture. Il sert de point de départ aux concepteurs. La veille concurrentielle permet aussi d'identifier les sept sous-structures que l'on retrouve systématiquement dans une pompe doseuse à piston et à moteur tournant : un moteur, un accouplement élastique, un réducteur, un système de transformation du mouvement de rotation continue en mouvement de translation alternatif, une tête de dosage, un système de réglage du débit et le carter.

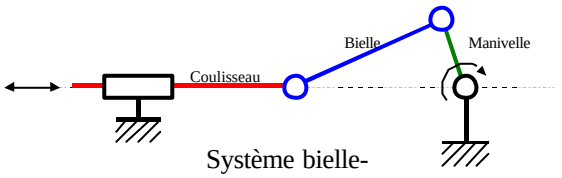
Pour effectuer la veille concurrentielle, les étudiants disposent d'un ordinateur qui permet de consulter une base de données hypertexte en réseau. Celle-ci est constituée des copies des sites Internet des constructeurs internationaux de pompes doseuses, complétés par des documentations initialement sur papier, scannées et intégrées à la base de données. De manière systématique, on y trouve des représentations des pompes doseuses et leurs caractéristiques de pression et de débit.



Système bielle-manivelle à plateau incliné



Système bielle-manivelle et balancier



Système bielle-manivelle

Les principes de réglage ne sont pas représentés

Figure 4 : Schémas cinématiques minimaux des trois archétypes de pompes doseuses à trouver

Deux outils conceptuels sont proposés aux étudiants pour les guider dans cette tâche. Il s'agit de la notion d'archétype et celle de diagramme comparatif des performances.

Une gamme de pompes doseuses est un ensemble de modèles, constituées du même carter, du même moteur et de la même architecture. Dans une même gamme, les modèles diffèrent par le réducteur et la tête de dosage (donc la cylindrée), ce qui leur

confère des caractéristiques de débit et de pression maximale de refoulement différentes. Au total, dans la base de données, 4 gammes de pompes doseuses contiennent des modèles qui peuvent assurer 20 litres par heure avec une pression de refoulement de 400 bars. Elles correspondent à trois archétypes : le système bielle-manivelle à plateau incliné, le système à bielle-manivelle et balancier ou le système bielle-manivelle à excentrique réglable (voir figure 3).

Le diagramme comparatif des performances à obtenir est représenté en figure 4, ci-dessous.

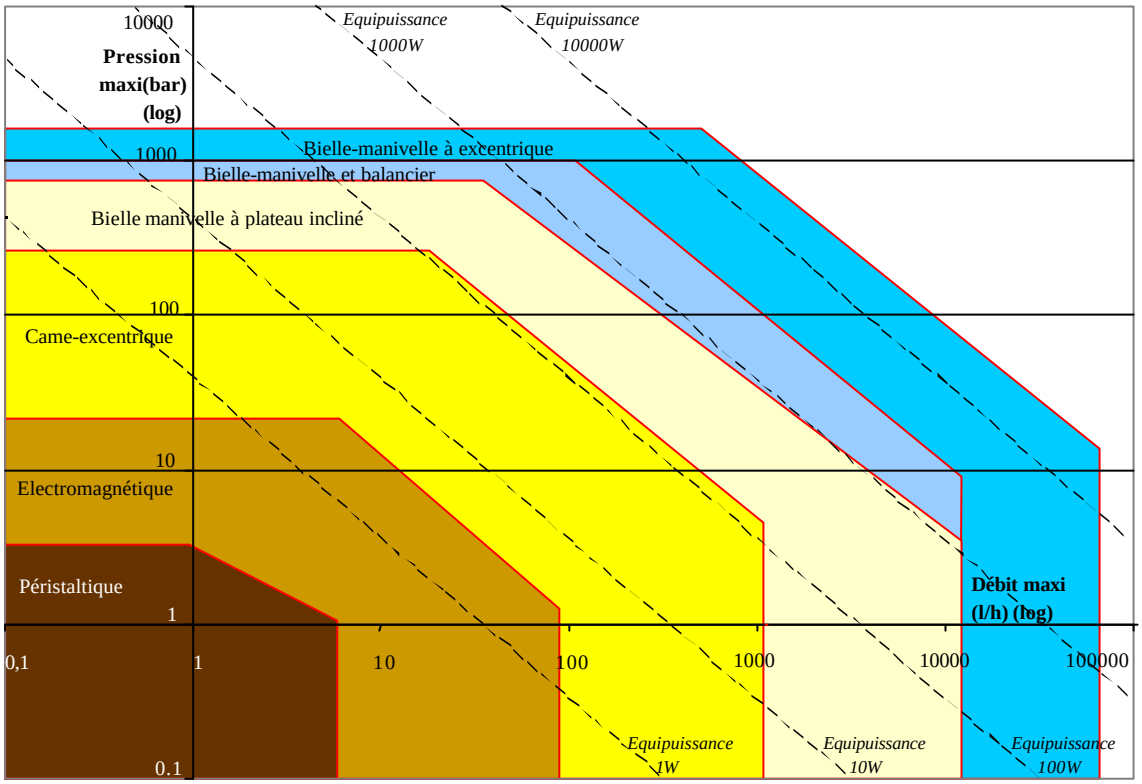


Figure 5 : Diagramme comparatif des performances des pompes doseuses selon leur archétype

2.5.2. Deuxième étape : le choix d'un archétype

La démarche de choix d'un archétype suivie par les étudiants est celle utilisée dans l'entreprise Dosapro. Celle-ci est une méthode d'analyse de la valeur dont nous décrivons ici la procédure (voir figure 5). Parmi quelques archétypes de pompes présélectionnés par leurs caractéristiques de pression et débit, issus de la veille concurrentielle, et des innovations issues du service de recherches et développements de l'entreprise, une équipe projet doit choisir un archétype pour aller plus loin dans l'avancement du projet. L'équipe projet est constituée des responsables des différents services de l'entreprise qui sont concernés par le projet. La méthode utilisée consiste à réunir autour d'une table cette équipe. Tous les membres doivent lister les critères à

retenir pour comparer les différents principes de pompe (sur la figure 5: voir le repère A). Parmi la liste de tous les critères retenus par l'équipe, chacun des membres sélectionne, à bulletin secret, les 4 critères qui lui semblent prépondérants (B). Ainsi, à chaque critère est associé un coefficient égal au nombre de personnes l'ayant sélectionné comme prépondérant, ce qui permet de hiérarchiser la liste de critères (C). Indépendamment de cette hiérarchisation, chaque membre donne à bulletin secret une note de 1 à 4 à chacun des archétypes selon chacun des critères retenus (D). En faisant une moyenne des notes mises par chaque membre de l'équipe à chaque principe de pompe, pondérées des coefficients de hiérarchisation, l'équipe projet parvient ainsi à donner une note à chaque archétype. Le mieux noté est théoriquement celui qui devrait être choisi dans la suite du projet (E). En fait, en plus de cette méthode rationnelle, des critères de l'ordre de la politique d'entreprise peuvent intervenir, ainsi que des relations de pouvoir et de hiérarchie entre membres de l'équipe projet.

Dans le cas des étudiants qui suivent la formation Codimi, le but est de choisir un archétype de pompe doseuse parmi les trois qui ont été trouvés lors de la veille concurrentielle. Les étudiants ne disposent pas d'informations précises sur les coûts de production ou les prix de vente des pompes doseuses. Ce sont uniquement des critères techniques qui devront être pris en compte par les étudiants.

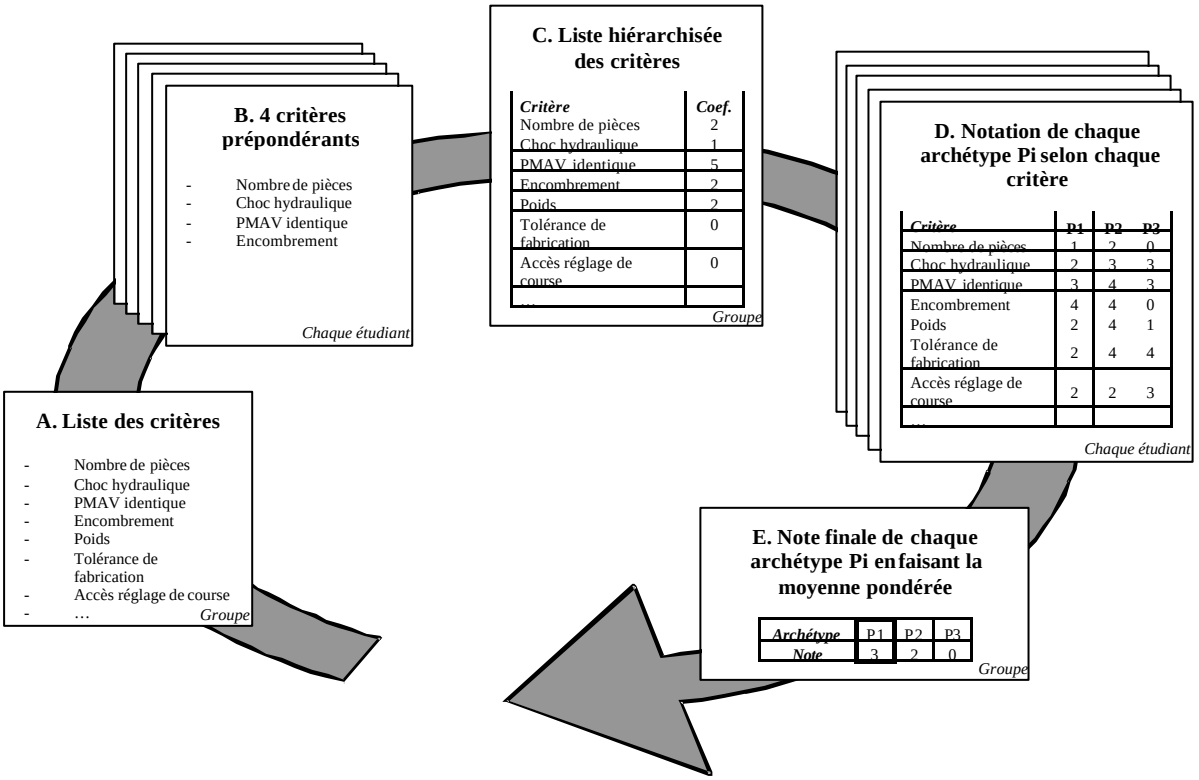


Figure 6 : Documents à produire pour choisir un archétype selon la démarche de l'analyse de la valeur

2.5.3. Troisième étape : le dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues

Une fois l'archétype choisi, les étudiants doivent choisir la tête de dosage, la course et le diamètre du piston, la cadence du piston, le réducteur, le moteur et les dimensions qui déterminent la loi entrée-sortie de système de transformation du mouvement. Le but est d'obtenir le débit voulu à la pression maximale imposée. La production de cette étape consiste en un schéma cinématique dimensionné, qui servira ensuite à dessiner le plan d'avant-projet.

La démarche de dimensionnement de l'architecture proposée aux étudiants est suit les mêmes étapes que la démarche suivie par les concepteurs de Dosapro. Mais à ce niveau, l'expertise des professionnels joue un rôle important. Certains choix de dimensions sont faits par expérience. Cette expertise a été introduite dans la formation Codimi : c'est l'enseignant, connaissant les choix d'experts qui ont été faits chez Dosapro, qui apporte l'expertise nécessaire pour avancer le projet des étudiants. Au fur et à mesure du dimensionnement, des éléments de correction sont donnés aux étudiants après un moment de réflexion libre, de l'ordre de 30 minutes. Ces éléments précisent les choix qui ont pu être faits uniquement grâce à l'expérience des professionnels de la pompe doseuse. Cette organisation pédagogique permet de guider les étudiants en difficulté, tout en leur laissant le temps de poser le problème.

Les deux exemples suivants sont caractéristiques de l'expertise des professionnels. Premièrement, pour une cylindrée de pompe donnée, il faut choisir la course du piston et sa section. Le choix de la course est déterminé par expérience pour des raisons d'encombrement global de la pompe. La section du piston est choisie en conséquence. Dans le cas des performances de la pompe que les étudiants doivent concevoir, la cylindrée vaut environ 2 cm^3 et la course 40 mm. Deuxièmement, dans le cas d'un système de transformation de mouvement par bielle-manivelle, pour des raisons de régularité des efforts dus à l'accélération et pour limiter les efforts dans le guidage du coulisseau, le rapport entre la longueur de la bielle et celle de la manivelle est choisie par les experts d'une valeur proche de 3.

2.5.4. Quatrième étape : le choix des solutions constructives et le dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires

Partant du schéma cinématique dessiné à l'échelle 1 sur une feuille de calque, les étudiants doivent dessiner le plan d'avant-projet. Les responsabilités des deux groupes de trois étudiants d'une même unité de travail sont distribuées selon les sous-structures de la pompe doseuse : l'un doit concevoir et représenter le moteur, le réducteur et le système de transformation de mouvement. L'autre doit concevoir et représenter le carter, le système de réglage et la tête de dosage. Une spécificité de Codimi est que les étudiants doivent se mettre d'accord, à distance, pour concevoir les interfaces entre les parties dont la responsabilité est distribuée, en réglant les problèmes de compatibilité. Pour cela, les étudiants doivent utiliser les moyens de communication disponibles : les

messages électroniques ou la visioconférence (voir figure **). Chaque groupe doit donc dessiner un plan qui devra compléter le plan de son groupe jumelé au cours d'un rassemblement en fin de formation. Une autre spécificité est que les 2 ou 3 étudiants d'un même groupe doivent concevoir ensemble, autour de la même table, les sous-structures qu'ils ont en charge.

3. Quelles nouvelles difficultés des étudiants ?

Nous avons vu que les pratiques professionnelles de conception changent et que les concepteurs mettent en œuvre de nouvelles capacités de conception. Codimi est une proposition de formation qui prend en charge l'enseignement d'une partie de ces capacités. Les étudiants doivent y effectuer de nouvelles tâches pour un travail pratique de bureau d'études. Aussi les étudiants sont-ils susceptibles d'être confrontés à des difficultés à mener à bien ces nouvelles tâches.

Dans cette thèse, nous voulons évaluer de manière empirique les difficultés des étudiants, afin de proposer aux enseignants une grille d'observation permettant de diagnostiquer les difficultés des étudiants dans les nouvelles formations à la conception contemporaine.

C'est la formation Codimi (le « simulateur informatique » du titre de la thèse) qui sera le terrain d'expérimentation de la thèse.

Nous nous sommes limités aux difficultés rencontrées pendant trois tâches particulières, correspondant à trois nouvelles capacités de conception visées :

- Tâche n°1 : la recherche des produits concurrents dans la base de données hypertexte ;
- Tâche n°2 : la conception collective d'une sous-structure ;
- Tâche n°3 : la conception des interfaces entre plusieurs parties de la machine conçues par deux groupes jumelés.

Nous avons choisi ces trois tâches parce qu'elles sont nouvelles : nouvelles à réaliser pour les étudiants, par rapport aux travaux pratiques de bureau d'études qu'ils ont pu vivre au cours de leur formation antérieure, mais aussi nouvelles à "encadrer" pour les enseignants, par rapport aux travaux pratiques de bureau d'études antérieurs, à l'ENS de Cachan.

4. Problématisation

Quelle sera la forme de notre réponse à la question : « quelles sont les difficultés des étudiants dans les nouvelles tâches ? » ? Comment allons nous parvenir à une telle réponse ? C'est ce que nous développons dans cette section "problématisation".

Ce qui détermine concrètement une tâche dans le dispositif de formation, ce sont les consignes et les moyens qui sont donnés aux étudiants. Pour les trois tâches auxquelles nous nous limitons, les concepteurs de Codimi ont construit ces consignes et ont choisi ces moyens en prenant en compte les paramètres suivants :

- les pratiques professionnelles de référence (PPR) : la tâche a des points communs avec les PPR, en ce qui concerne les outils utilisés et l'organisation du travail ;
- les prérequis supposés des étudiants ;
- des objectifs d'apprentissage : ayant terminé la tâche, les étudiants doivent être capables d'effectuer un ensemble d'actions observables. Les objectifs d'apprentissages sont choisis en prenant en compte les PPR et les prérequis des étudiants.

Pour chaque tâche, on peut donc formaliser a priori :

- la production attendue, à partir de la consigne et des moyens donnés aux étudiants ;
- l'ensemble des actions qui constitue l'objectif d'apprentissage. C'est aussi cet ensemble d'actions qu'il est nécessaire de réaliser pour obtenir la production attendue. Nous appelons cet ensemble d'actions "méthode de référence".

La méthode de référence peut être établie :

- par transposition de pratiques professionnelles de référence, que nous connaissons par des visites d'entreprise et des témoignages ;
- en nous basant sur des travaux à caractère épistémologique sur ces pratiques.

Pour nous, une difficulté d'un groupe d'étudiants se traduit par un écart entre la méthode mise en œuvre par les étudiants et la méthode de référence et se par un écart entre la production effective des étudiants et la production attendue. En ce qui concerne les causes de ces difficultés, nous considérons qu'elles se trouvent dans la mauvaise adéquation des capacités des étudiants aux capacités que la tâche exige de mettre en œuvre.

La méthode de recherche que nous allons mettre en œuvre pour répondre à notre question consiste à émettre des hypothèses de sources de difficultés, puis de vérifier, de manière empirique, si les étudiants ont effectivement rencontré ces difficultés.

Les hypothèses de sources de difficultés sont construites d'abord en spécifiant les capacités nécessaires pour effectuer la tâche, puis en supposant, parmi celles-ci, des défauts de capacités des étudiants. Cette construction des hypothèses est basée sur des concepts et des résultats empiriques de recherches en psychologie cognitive, en didactique et en pédagogie.

La figure 7 synthétise les différentes étapes de notre démarche, qui structure par ailleurs les débuts des chapitres II, III, et IV, respectivement au sujet des tâches 1, 2 et 3 :

1. Spécification de la tâche : rappel des consignes et des moyens donnés aux étudiants
2. Précision de la production attendue
3. Formalisation de la méthode de référence (MR)
4. Spécification des capacités exigées par la MR
5. Hypothèses sur les défauts de capacités des étudiants, parmi les capacités exigées par la MR
6. En déduire les hypothèses de sources de difficultés
7. Pour chaque source de difficulté, précision de ses conséquences potentielles sur la production des étudiants et la méthode qu'ils mettraient en œuvre.

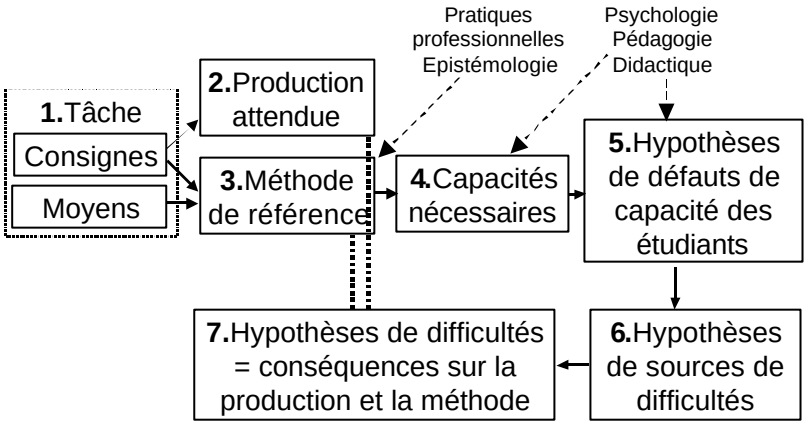


Figure 7 : Représentation de la démarche de problématisation

La réponse à la question initiale sera donc, pour chacune des trois tâches étudiées, la validation, par l'observation, des hypothèses de difficultés et de sources de difficultés précédentes, et la fréquence de ces difficultés. C'est ce que nous appelons plus loin "résultats".

Dans les trois chapitres suivants, nous développons la démarche décrite précédemment, pour chacune des trois tâches auxquelles nous nous sommes limités, puis nous donnons les résultats empiriques et nous discutons ces résultats.

Chapitre II.

Tâche 1 : Difficultés de la recherche de produits concurrents dans une base de données hypertexte pour le réinvestissement en conception

La première tâche à laquelle nous nous intéressons est la recherche des produits concurrents – en l'occurrence des pompes doseuses – dans la base de données hypertexte. Le but est d'effectuer une veille concurrentielle, c'est-à-dire une analyse de l'ensemble des produits vendus actuellement sur le marché visé (fonction de service et performance), pour un réinvestissement en conception.

Plus précisément, dans la formation Codimi, comme l'indique le tableau 5, nous centrons notre analyse uniquement sur la "veille concurrentielle libre" (entre 0h30 et 1h00 après le début de la formation), où l'enseignant n'intervient que pour vérifier que le but de la tâche est bien compris.

Tableau 5 : Déroulement chronologique du début de la formation Codimi (extrait de l'annexe 1, p. 6)

1°) **Présentation de la formation Codimi** : l'enseignant expose les moyens et de l'organisation.	0h10
2°) **Constitution des groupes** : les 15 étudiants sont répartis par groupes sur les postes de travail.	0h15
3°) **Lecture de la demande du service marketing**. L'enseignant distribue la lettre de mission et le cahier de charges fonctionnel (CdCF) et les lit avec les étudiants.	0h25
4°) **Démonstration du fonctionnement d'une pompe doseuse.** L'enseignant présente une pompe doseuse sur un banc d'essai didactisé (Banc Doshydro), en faisant fonctionner la pompe et en indiquant sur le matériel les fonctions indiquées sur le CdCF.	0h30
5°) **Veille concurrentielle libre**. L'enseignant donne la consigne n°1. Les étudiants effectuent une recherche documentaire de veille concurrentielle librement sur l'intranet.	1h00
6°) **Veille concurrentielle guidée**. L'enseignant présente une méthode de recherche documentaire de veille concurrentielle : il distribue la consigne n° 1bis, "l'arbre comparatif" vierge et une feuille de papier log-log au format A3.	1h30

1. Description de la tâche prescrite

Quelle consigne l'enseignant donne-t-il aux étudiants ? De quelles informations disposent-ils ? Quelles informations doivent-ils chercher ?

1.1. La consigne donnée aux étudiants

La consigne n°1 donnée aux étudiants est la suivante : « Trouvez dans l'intranet documentaire les pompes de la concurrence qui répondent au cahier des charges. Nous nous en inspirerons pour concevoir notre pompe. »

Le "cahier des charges" évoqué dans la consigne est constitué d'une lettre de mission et un cahier des charges fonctionnel. Ces documents ont été donnés aux étudiants et ont été lus à haute voix par l'enseignant. Ils figurent en annexe (annexe 1, pages 10 à 12). Ce cahier des charges donne les performances voulues de la pompe doseuse à concevoir, et l'environnement dans lequel elle sera utilisée. Elles sont présentées de manière synthétique dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Synthèse des performances de la pompe doseuse à concevoir, exigées dans le cahier des charges

Caractéristique	**Valeur**
Fluide pompé	Méthanol
Environnement	Plate-forme pétrolière
Pression de refoulement	400 bar
Débit	20 l/h
Norme de sécurité à respecter	Norme de l'industrie pétrolière API 675 (fréquence du piston limitée à 100 coups/min)
Cycle d'utilisation	24h/24h
Durée de vie	20 ans 25000 h pour les pièces d'usure
Production annuelle	200 à 400 unités

1.2. Le moyen donné aux étudiants : une base de données hypertexte

La ressource d'informations disponibles, qui doit permettre de réaliser cette tâche de recherche des produits concurrents, est une base de données hypertexte sur les pompes doseuses du marché, accessible par l'ordinateur dont dispose chaque groupe, muni du logiciel de navigation "Internet Explorer".

Sur le principe de l'hypertexte, la base de données contient des "pages" constituées de texte et d'images. La "navigation" dans la base de données est permis par un accès de page en page, une page permettant d'accéder à plusieurs autres.

Elle est constituée de la copie des sites Internet des constructeurs mondiaux de pompes doseuses, à caractère technique et commercial, et des pages construites par numérisation de documents constructeurs papier.

La base de données est structurée en arborescence. Elle est constituée de 11 "branches constructeur", qui correspondent aux 11 constructeurs de pompes doseuses. Les pages qui contiennent des informations utiles au repérage des produits concurrents sont celles qui renseignent sur les performances d'une gamme de pompes doseuses. Nous les appelons pages "gamme". La base de données contient 534 pages au total, dont 42 pages "gamme".

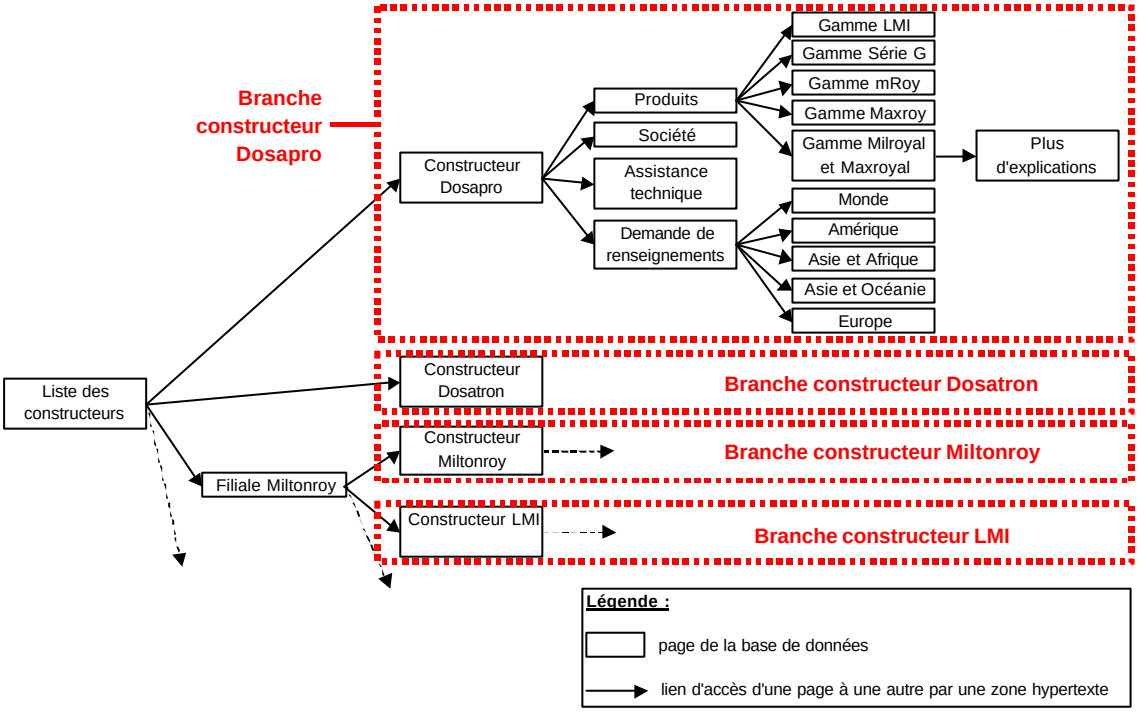


Figure 8 : Représentation de la structure de la base de données

Une gamme est constituée d'un ensemble de modèles. Les performances d'un modèle de pompes doseuses, déterminantes pour vérifier qu'elles répondent au cahier des charges, sont la pression maximale admissible (Pmax) et le débit maximal pour un réglage à 100% (Qmax). Ainsi, ce qui caractérise les performances d'une gamme de pompes doseuses, utiles pour la recherche des produits concurrents, est un ensemble de couples (Qmax, Pmax).

Toutes les pages "gamme" présentent ces caractéristiques sous une des trois formes suivantes :

- soit les valeurs numériques de Qmax et de Pmax de chacun les modèles de pompe doseuse de la gamme en question sont listées dans un tableau comme ci-dessous.

MODEL @ AIR/GAS SUPPLY PRESSURE	MAX VOLUME GPH/LPH	VOL. PER STK CC	STK LN INCH	STKS PER MIN (RANGE)	MAX DISCHARGE PRESSURE PSIG/BARG	MAX AIR CONSUMPTION			
						100 PSI	6.9 BAR	150 PSIG	10.3 BAR
						SCF PER DAY	SCM PER DAY	SCF PER DAY	SCM PER DAY
CP125V125 @ 100 PSI/6.9 BAR	.07 / .27	.1	.5	1-45	8650 / 596.4	180	5		
CP250V225 @ 100 PSI/6.9 BAR	.57 / 2.16	.8	1	1-45	7200 / 496.4	1150	32		
CP250V300 @ 100 PSI/6.9 BAR	.57 / 2.16	.8	1	1-45	13,100 / 903.2	2100	59		
CP500V225 @ 100 PSI/6.9 BAR	2.30 / 8.71	3.2	1	1-45	1750 / 120.7	1150	32		
CP500V300 @ 100 PSI/6.9 BAR	2.30 / 8.71	3.2	1	1-45	3250 / 224.1	2100	59		
CRP500V400 @ 100 PSI/6.9 BAR @ 150 PSI/10.3 BAR	2.30 / 8.71 2.30 / 8.71	3.2 3.2	1 1	1-45 1-45	6300 / 434.4 9200 / 634.3	3584	101	5250	149
CRP1000V400 @ 100 PSI/6.9 BAR @ 150 PSI/10.3 BAR	9.08/34.37 9.08/34.37	12.7 12.7	1 1	1-45 1-45	1520 / 104.8 2300 / 158.6	3584	101	5250	149
CRP1000V600 @ 100 PSI/6.9 BAR @ 150 PSI/10.3 BAR	9.04/34.22 7.00/26.50	12.6 9.8	1 1	1-45 1-35	3400 / 234.4 4700 / 324.0	7190	203	10210	289
CRP1000V800 @ 100 PSI/6.9 BAR @ 150 PSI/10.3 BAR	8.81/33.35 6.82/25.81	12.3 9.5	1 1	1-45 1-35	6300 / 434.4 9100 / 627.4	12342	349	18150	514

Figure 9 : Exemple de tableau listant les modèles d'une gamme et leurs caractéristiques, extrait de la base hypertexte

- soit chaque modèle de la gamme est représenté par un point dans un "diagramme (Q,P)", graphique où la valeur de Qmax est reportée en abscisse et la valeur de Pmax en ordonnée. Alors une gamme y est représentée par la courbe reliant tous les points des modèles de ladite gamme. Un point situé dans la zone en dessous et à gauche de cette courbe est un point de fonctionnement autorisé par au moins un modèle de la gamme.

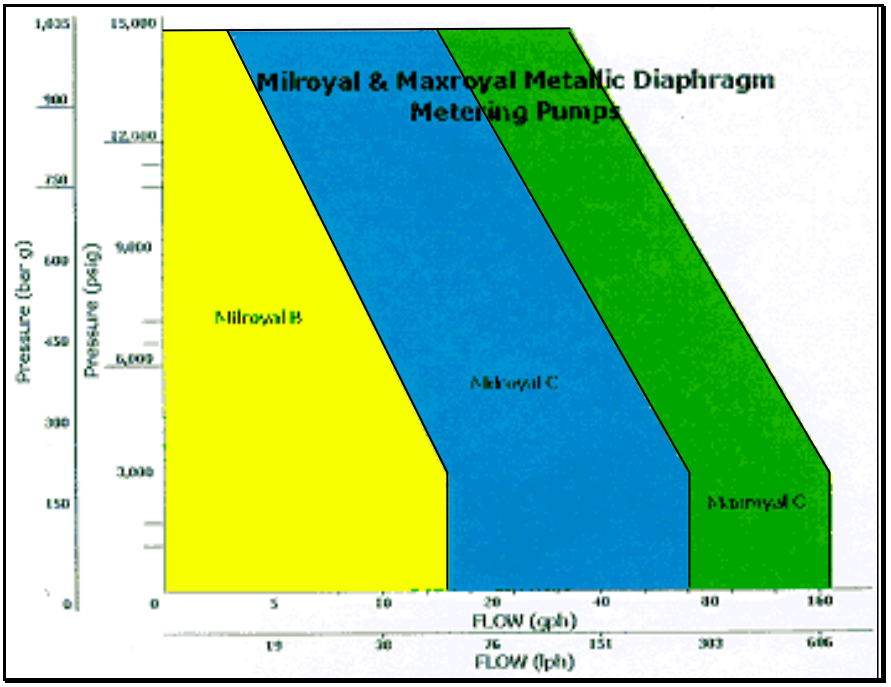


Figure 10 : Exemple de diagramme débit/pression de trois gammes de pompes doseuses, extrait de la base hypertexte

- soit enfin le constructeur donne la valeur de Pmax du modèle de pompe doseuse qui majore la gamme en pression et la valeur de Qmax du modèle qui majore la gamme en débit. En général, ces deux modèles de pompe "majorants", l'un en débit, l'autre en pression, ne correspondent pas au même modèle.

Performances
? Débits jusqu'à 30 000 l/h avec une précision de plus ou moins 1%
? Pressions jusqu'à 700 bars

Figure 11 : Exemple de caractéristiques maximales "majorant" une gamme de pompes, extrait de la base hypertexte

2. La production attendue

D'après la consigne, citée précédemment, le but de la tâche est de faire la liste des gammes de pompes doseuses, trouvées dans la base de données, qui remplissent les conditions imposées par le cahier des charges.

En effet, ce que les étudiants devront retenir des pompes pour s'en "inspirer" lors de la conception, c'est l'archétype, c'est-à-dire le principe de fonctionnement et l'architecture de la machine. Au niveau de détail qui correspond à la première étape de la conception d'une pompe doseuse, l'archétype contient le fonctionnement cinématique,

les composants principaux et leurs positions relatives. Il peut être représenté par un schéma cinématique minimal.

Dans notre analyse, nous nous limiterons à la recherche des produits concurrents, et non à la reconnaissance des archétypes associés. L'identification des difficultés à comprendre le fonctionnement d'une machine à partir de sa description, et notamment de sa représentation graphique, a été faite dans les années 1980 et 1990 par des chercheurs comme Yves Cartonnet (Cartonnet, 1992), Pierre Rabardel (Rabardel, 1980) et Annie Weil-Fassina (Rabardel et Weill-Fassina, 1987).

4 gammes de pompes doseuses décrites dans la base de données répondent au cahier des charges.

Le tableau suivant présente ces pompes. Y figurent le nom du constructeur, le nom de la gamme, l'archétype correspondant, l'emplacement dans la base où l'on peut trouver des informations concernant les performances des pompes doseuses de cette gamme et la forme de présentation de ces informations dans la base de données ("caractéristiques indiquées").

Tableau 7 : Les 4 gammes de pompes doseuses à trouver dans la base de données

Marque = nom du constructeur	**Nom de la gamme de produits**	**Archétype**	**Pages de la base de données indiquant les caractéristiques de débit et pression de la gamme (liste des pages jalonnant le chemin pour s'y rendre)**		**Caractéristiques indiquées**
DOSAPRO MILTONROY	Milroyal	Bielle-manivelle à plateau incliné	Liste pompes? Dosapro? Pompes doseuses	1	(c) Qmax et Pmax
			Liste pompes? Dosapro? Pompes doseuses? Milroyal&Maxroyal	2	(c) Qmax et Pmax
			Liste pompes? Miltonroy? MiltonRoy.com ? Milroyal&Maxroyal Metallic Diaphragm Metering Pumps	3	(b) Diagramme (Q,P) et (c) Qmax et Pmax
			Liste pompes? MiltonRoy? MiltonRoy.com ? Milroyal Packed Plunger Metering Pumps	4	(b) Diagramme (Q,P) et (c) Qmax et Pmax
DOSAPRO MILTONROY	Maxroyal	Bielle-manivelle et balancier	Liste pompes? Dosapro? Pompes doseuses	1	(c) Qmax et Pmax
			Liste pompes? Dosapro? Pompes doseuses? Milroyal&Maxroyal	2	(c) Qmax et Pmax
			Liste pompes? MiltonRoy? MiltonRoy.com ? Milroyal&Maxroyal Metallic Diaphragm Metering Pumps	3	(b) Diagramme (Q,P) et (c) Qmax et Pmax
DKM	K 20-2 et KL 40-2	Bielle-manivelle et balancier	Liste pompes? DKM	5	(c) Diagramme (Q,P)
LEWA	Modular	Bielle-manivelle à excentrique réglable	Liste pompes? Lewa	6	(c) Diagramme (Q,P)

Comment les étudiants pourraient-ils ne pas obtenir la production attendue, la liste des 4 gammes de pompes doseuses qui satisfont le cahier des charges ? Deux possibilités, qui ne s'excluent pas, sont envisageables : soit ils n'ont pas listé la totalité des 4 gammes de pompes doseuses qui répondent effectivement au cahier des charges, soit ils ont listé des gammes qui n'y répondent pas.

3. La méthode de référence

Comment doit-on s'y prendre pour effectuer une recherche de produits concurrents dans une base de données hypertexte ? Quelle méthode les étudiants doivent-ils apprendre à mettre en œuvre ? Et en particulier en ce qui concerne les pompes doseuses concurrentes ?

Rappelons que le but de cette tâche est de trouver les pompes doseuses des constructeurs concurrents, décrits dans la base de données, dont les performances satisfont le cahier des charges que l'on s'est donné.

Pour faire cette tâche, il est donc nécessaire et suffisant de parcourir la base de données dans le but de trouver des informations sur les performances des pompes doseuses qui y sont décrites, et de sélectionner celles dont les performances correspondent aux exigences du cahier des charges. Dans le cas particulier de la base de données dont disposent les étudiants, il faut consulter toutes les pages "gamme" dans chacune des 11 branches "constructeur", puis chercher dans ces pages la valeur des performances (pression maximale admissible P_{max} et débit maximal de refoulement Q_{max}) des gammes de pompes, et sélectionner celles dont P_{max} est supérieure à 400 bar et Q_{max} est supérieur à 20 l/h.

La méthode de référence de la tâche 1 peut donc se décomposer en quatre étapes :

I. Accéder systématiquement aux 11 branches "constructeur" de la base.

II. Dans une branche, accéder systématiquement à toutes les pages "gamme" informant sur les pompes.

III. Dans une page "gamme", accéder systématiquement aux caractéristiques de pression maximale admissible P_{max} et de débit maximal de refoulement Q_{max}.

IV. Si P_{max} et Q_{max} sont trouvés, sélectionner les gammes de pompes selon ces critères : si P_{max} est supérieure à 400 bar et Q_{max} est supérieur à 20 l/h, la pompe est "correcte", sinon elle ne l'est pas.

Un écart entre, d'une part la production et la méthode mise en œuvre par un groupe d'étudiants, et d'autre part la production attendue et la méthode de référence énoncées précédemment, sera pour nous un indice de difficultés rencontrées par ces étudiants.

Mais quelles sont les sources de difficultés possibles des étudiants dans cette tâche de recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte ? Dans la section suivante, nous formulons nos hypothèses à ce sujet.

4. Hypothèses sur les sources de difficultés

Dans ce paragraphe, nous précisons les capacités à mettre en œuvre pour effectuer la recherche des produits concurrents dans la base de données hypertexte et nous faisons des hypothèses sur les défauts de capacité des étudiants, parmi les capacités précédentes. Ces hypothèses constituent nos hypothèses de source de difficultés.

Nous avons construit ces hypothèses en distinguant trois aspects de la tâche, qui nécessitent des capacités différentes : l'utilisation de l'outil informatique [ordinateur + logiciel de navigation + hypertexte], l'activité de recherche d'informations et la collaboration des étudiants d'un groupe.

4.1. Utiliser l'outil informatique pour accéder aux informations contenues dans la base de données

Pour "naviguer" dans la base de données hypertexte, c'est-à-dire accéder aux informations qu'elle contient, les étudiants doivent utiliser un ordinateur, un logiciel de navigation (ou "navigateur") et des hypertextes.

Les hypertextes permettent d'accéder d'une page à une autre, qui se trouve à un niveau plus profond dans l'arborescence de la base. A l'opposé, des fonctionnalités du navigateur permettent de remonter dans l'arborescence. D'autres fonctionnalités du navigateur permettent d'accéder aux informations contenues dans une page.

En psychologie, le concept d'*instrument*, développé par Pierre Rabardel, caractérise les capacités à utiliser cet outil informatique.

4.1.1. Le concept d'instrument

Pierre Rabardel s'est intéressé aux actions humaines médiatisées par un artefact (Rabardel et Vérillon, 1985, Rabardel, 1993, 1995). *Artefact* est utilisé ici au sens d'objet matériel ou symbolique, fabriqué par l'homme. Précisément, c'est par l'intermédiaire de l'artefact "souris-clavier-écran", "logiciel de navigation" et "zone hypertexte" que les étudiants pourront accéder aux informations utiles pour trouver les produits concurrents.

Avant Pierre Rabardel, Gérard Vergnaud s'est intéressé aux structures mentales (et leur construction) qui peuvent expliquer la réussite ou non d'enfants dans la résolution d'un problème de mathématiques. Comme Jean Piaget, ce sont ces structures mentales qu'il appelle "schèmes".

> « Le schème est une organisation invariante de la conduite pour une classe donnée de situations. […] Un schème est formé de plusieurs catégories d'éléments, tous indispensables : des buts et anticipations, des règles d'action, des possibilités d'inférence en situation, et des invariants opératoires. » (Vergnaud, 1998, p. 283 et 285)

A partir de ce concept de *schème*, Pierre Rabardel construit le concept de *schème d'utilisation* dans lesquels il distingue les *schèmes d'usage* et les *schèmes d'action instrumentée*. Pour lui, en effet, un artefact devient vraiment un instrument, c'est-à-dire un outil qui permet d'agir, si et seulement si l'individu l'intériorise en tant que tel, c'est-à-dire s'il construit un schème qui intègre l'usage de l'artefact dans une action. L'auteur distingue deux types de schèmes d'utilisation. Nous le citons ci-dessous à ce sujet :

> « Les schèmes liés à l'utilisation d'un artefact, que nous appelons schèmes d'utilisation (Sh.U.) concernent deux dimensions de l'activité :
> - les activités relatives aux tâches "secondes", c'est-à-dire celles relatives à la gestion des caractéristiques et propriétés particulières de l'artefact. […]
> - les activités premières, principales, orientées vers l'objet de l'activité, et pour lesquelles l'artefact est un moyen de réalisation.[…]
> Cela nous conduit à distinguer, dans un premier temps, deux niveaux de schèmes au sein des schèmes d'utilisation :
> - les schèmes d'usage (Sh.Us.) qui sont relatifs aux "tâches secondes". Ils peuvent […] se situer au niveau des schèmes élémentaires (au sens de non décomposables en unités plus petites susceptibles de répondre à un sous-but identifiable), mais ce n'est nullement nécessaire : ils peuvent eux-mêmes être constitués en totalités articulant un ensemble de schèmes élémentaires. Ce qui les caractérise, c'est leur orientation vers les tâches secondes correspondant aux actions et activités spécifiques directement liées à l'artefact ;
> - les schèmes d'action instrumentée (Sh.A.I.), qui consistent en totalités dont la signification est donnée par l'acte global ayant pour but d'opérer des transformations sur l'objet de l'activité. Ces schèmes incorporent, à titre de constituants, les schèmes de premier niveau (Sh.Us.). Ce qui les caractérise, c'est qu'ils sont relatifs aux "tâches premières".[…] (Rabardel, 1995, p.113-114) »

Ainsi, le schème d'usage permet à un individu d'utiliser l'artefact pour sa (ou ses) fonction de base. Il permet d'utiliser l'artefact pour lui-même. Le deuxième, le schème d'action instrumentée, permet de réaliser une action plus globale qui intègre certes l'utilisation de l'artefact, mais qui est motivée par un but autre que celui d'utiliser l'artefact. Un schème d'action instrumentée intègre comme composantes des schèmes d'usage. Pour illustrer ces concepts, nous reprenons ci-dessous l'exemple donné par l'auteur :

> « Pour un conducteur confirmé, le dépassement d'un véhicule est un type d'action qui comprend des invariants identifiables : analyse de la situation permettant de déterminer le moment opportun, indication de l'intention de dépasser, si nécessaire changement de rapport de vitesse, modification de la trajectoire du véhicule, etc. C'est un schème d'action instrumentée qui sous-tend les aspects invariants d'une telle action de dépassement. Ce schème incorpore à titre de composants des schèmes d'usage, subordonnés à son organisation générale, tels ceux qui permettent de gérer un changement de rapport de vitesse ou un changement de trajectoire. » (Rabardel, 1995, p.114).

Ces notions de schème d'usage et de schème d'action instrumentée sont relatives à l'action que l'on considère. Reprenons l'exemple du dépassement d'un véhicule. Dans cette action de dépassement, les schèmes qui permettent de changer de rapport de

vitesse sont considérés comme des schèmes d'usage, s'intégrant dans un ensemble de schèmes d'usage organisés en schème d'action instrumentée. Par contre, si on considère uniquement l'action de changement de rapport de vitesse, qui peut avoir un sens en soi, ces mêmes schèmes deviennent des schèmes d'action instrumentée, qui incorporent des schèmes d'usage, tels ceux qui permettent d'appuyer sur la pédale d'embrayage, ou d'enclencher le levier à la cinquième vitesse.

Dans la suite, nous voulons caractériser, grâce à ces concepts de schèmes d'usage et de schèmes d'action instrumentée, les capacités nécessaires pour accéder aux informations contenues dans la base, par les hypertextes, et par le logiciel de navigation.

Les hypothèses que nous formulerons sur la construction préalable à la formation Codimi, ou non, des schèmes d'utilisation des hypertextes et du navigateur sont basées sur les résultats d'une enquête publiée par Yves Cartonnet en 1999. Ils montrent que, dans la promotion d'étudiants de licence de technologie mécanique en 1998, à l'Eco le Normale Supérieure de Cachan : 94,8% des étudiants (73 sur 77) ont déjà utilisé Internet. Nous supposerons que les étudiants de licence de technologie mécanique, qui ont suivi la formation Codimi en 2000 à l'ENS de Cachan ont déjà utilisé Internet, donc un logiciel de navigation et des hypertextes.

Nous supposerons par conséquent que les étudiants maîtrisent ces outils dans une utilisation "minimale", c'est-à-dire juste suffisante pour accéder à une information dans une base de données hypertexte.

4.1.2. Usage des zones hypertextes pour descendre dans l'arborescence de la base

De manière générale, une page de la base de données contient plusieurs zones hypertextes qui permettent chacune d'accéder à une autre page de la base de données, à un niveau plus profond dans l'arborescence, et de l'afficher à l'écran.

Les zones hypertextes sont des zones visibles sur la page en cours de consultation, le plus souvent sous la forme de texte souligné. Parfois, ce sont aussi des images ou d'autres zones graphiques de la feuille. Lorsque le pointeur de la souris, qui a d'habitude une forme de flèche, se trouve sur une zone hypertexte, il prend la forme d'une main. Un clic de la souris sur une zone hypertexte remplace la page affichée à l'écran par une autre page.

Les schèmes d'usage des zones hypertextes consistent à :

- reconnaître une zone hypertexte dans une page, par sa forme (texte souligné bleu) et par la forme du pointeur de la souris (une main)
- maîtriser le mode opératoire d'activation d'un hyperlien (glisser la souris et cliquer)

Ces schèmes d'usage des zones hypertextes sont tous "minimaux" car tous nécessaires à la consultation d'une base de données hypertexte. Par conséquent, nous supposons que les étudiants n'auront aucune difficulté relative à l'utilisation des zones hypertextes en elles-mêmes.

Comme nous avons supposé que les étudiants maîtrisent les outils de navigation dans une utilisation "minimale", nous supposons aussi que les étudiants n'auront pas de difficulté à utiliser les zones hypertexte pour accéder à une page plus profonde dans l'arborescence de la base de données.

4.1.3. Usage du navigateur pour remonter dans l'arborescence de la base

Quels sont les schèmes d'usage du navigateur dont les étudiants ont besoin lors de la recherche des produits concurrents dans la base de données hypertexte ? Quelles sont ses fonctionnalités utiles et les modes opératoires qui permettent de les utiliser ? Parmi eux, nous analysons dans cette section 4.1.3. ceux qui permettent d'accéder à une page de la base de données, en remontant dans l'arborescence. Dans la section suivante (4.1.4), nous analyserons ceux qui permettent d'accéder aux informations dans la page en cours de consultation.

Le tableau ci-dessous présente la liste des fonctionnalités du navigateur et modes opératoires associés, ainsi que les actions qu'elles permettent.

Tableau 8 : Les accès aux pages de la base de données permis par le navigateur

Mode opératoire	**Action permise**
1. Bouton "page de démarrage"	Accéder à la première page de la base de données, à la racine de l'arborescence
2. Menu déroulant des pages précédentes	Revenir à une des pages consultées précédemment, au choix dans la liste chronologique de consultation, en remontant dans l'arborescence
4. Bouton "page précédente"	Revenir à la page consultée précédemment, en remontant dans l'arborescence
4. Modification de l'adresse de la page dans le champ "adresse"	Accéder à n'importe quelle page de la base de données, à condition de connaître son adresse (par exemple si cette page a déjà été consultée et son adresse mémorisée par les étudiants)
5. Bouton "Historique"	Accéder à une des pages consultées précédemment, au choix dans une liste classée par site (par constructeur)

La maîtrise "minimale" du logiciel de navigation, pour remonter dans l'arborescence, est la connaissance de la fonctionnalité n°4 "page précédente" et du bouton qui active cette fonctionnalité (voir la figure 12). Selon l'hypothèse que nous avons émise précédemment, nous pensons que les autres fonctionnalités ne sont pas connues des étudiants.

Pourtant, le mode opératoire le plus économique, en nombre d'opérations, n'est pas toujours de cliquer sur le bouton "page précédente". En effet, lorsqu'un utilisateur termine la consultation d'une branche de la base de données, il doit remonter les niveaux de l'arborescence jusqu'à la racine, pour entreprendre la consultation d'une autre branche. Pour cela, d'autres fonctionnalités et d'autres modes opératoires sont plus pertinents : d'abord un clic sur le bouton "page de démarrage" permet un accès direct à la racine (mode opératoire n°1 dans le tableau 8), ensuite le menu déroulant des pages

précédente permet de choisir en deux clics le niveau de l'arborescence où l'on souhaite remonter (mode opératoire n°2).

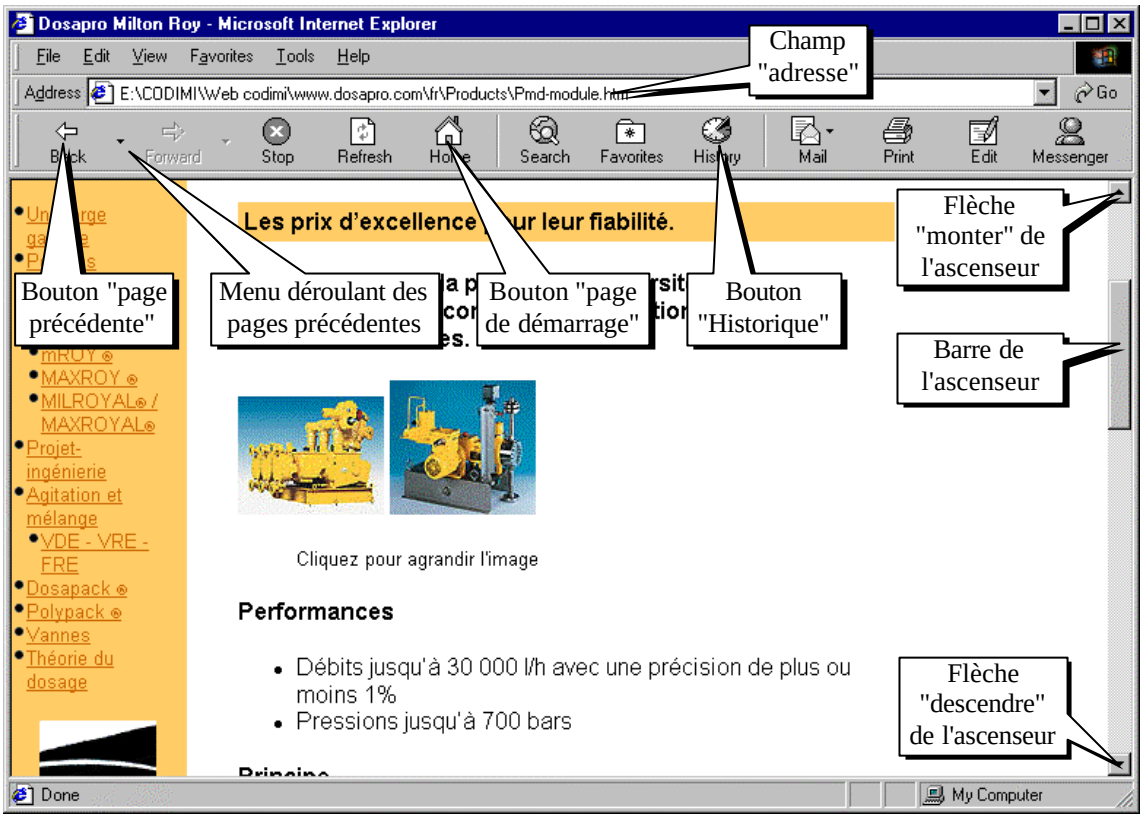


Figure 12 : La fenêtre du logiciel de navigation telle qu'elle apparaît à l'écran

HYPOTHÈSE H1 : Ainsi, nous faisons l'hypothèse que les étudiants n'ont pas construit les schèmes d'usage du logiciel de navigation qui permettent de remonter de plusieurs niveaux dans l'arborescence de la base de données. Nous considérons que c'est une source de difficulté car cela les conduirait à ne pas faire un usage optimal du navigateur, en nombre d'opérations. C'est un facteur qui expliquerait que les étudiants manquent de temps pour terminer cette tâche.

4.1.4. Usage du navigateur pour accéder aux informations contenues dans une page

En ce qui concerne l'accès aux informations (texte et images) contenues dans la page en cours de consultation, le navigateur possède deux fonctionnalités : l'"ascenseur" et la "recherche par mot-clef dans une page".

La majorité des pages ont une taille supérieure à la fenêtre d'affichage du navigateur et de l'écran d'ordinateur. Elles ne peuvent pas y être affichée entièrement. Tout se passe comme si la page de la base de données était une feuille de papier imprimée, et comme si la fenêtre d'affichage du logiciel de navigation était une fenêtre

de visionnage rectangulaire à travers laquelle on pouvait voir une partie de la feuille imprimée.

L'ascenseur permet de faire défiler la fenêtre de visionnage (la fenêtre du navigateur) devant la feuille (la page). Pour faire monter la fenêtre devant la feuille, il faut cliquer sur le bouton "monter", en haut à droite de la fenêtre du navigateur (voir la figure 10). Pour la faire descendre, il faut cliquer sur le bouton "descendre", en bas à droite. Entre ces deux boutons, la "barre d'ascenseur" indique par sa taille la portion de la page affichée à l'écran. Si la page est entièrement affichée à l'écran, les boutons d'ascenseur ne s'affichent pas, ni la barre d'ascenseur. Par leur présence à l'écran, ils indiquent donc que la page en cours de consultation n'est pas entièrement affichée à l'écran. Ainsi, l'ascenseur est utile pour repérer que la page en cours de consultation n'est pas entièrement affichée à l'écran et pour lire une page entièrement, ou au moins lire l'ensemble des titres de la page.

La fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page" permet d'afficher et de surligner automatiquement et successivement les différentes zones de la page qui contiennent un mot choisi par l'utilisateur. Elle peut être activée en cliquant sur le bouton "Édition" du menu puis sur "Rechercher" dans le menu déroulant. Elle est particulièrement utile pour trouver les caractéristiques de pression et de débit dans une page qui contient ces performances (les pages "gamme"), par exemple avec les mots-clefs "pression", "débit", "bar" ou "l/h", ou la traduction anglaise dans les pages rédigées en anglais.

Comme précédemment, supposons que les étudiants maîtrisent les fonctionnalités "minimales" du navigateur, c'est-à-dire ici l'ascenseur, mais pas la recherche par mot-clef. En effet, pour accéder aux informations contenues dans une page, on ne peut pas se passer de l'ascenseur, mais la recherche par mot-clef n'est pas absolument nécessaire.

HYPOTHÈSE H2 : Plus précisément, nous faisons l'hypothèse que les étudiants auront construit les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée de l'ascenseur pour vérifier si la page consultée est entièrement affichée à l'écran ou pas et pour faire défiler la page. Par contre nous pensons qu'ils n'ont pas construit les schèmes d'action instrumentée de la "recherche par mot clef dans une page", et par conséquent, qu'ils ne penseront pas à utiliser cette fonctionnalité.

Outre l'accès aux informations, la recherche documentaire suppose que les étudiants aient une idée de ce qu'ils cherchent, qu'ils choisissent les parties de la base de données à lire et qu'ils lisent et comprennent ce qu'ils trouvent dans la base de données, pour en retenir la liste des pompes doseuses qui satisfont le cahier des charges. L'analyse de cette activité de "recherche d'informations" est l'objet de la section suivante.

4.2. Chercher les informations utiles à réinvestir en conception

Quels sont les raisonnements et les connaissances nécessaires pour trouver les caractéristiques des gammes de pompes qui répondent au cahier des charges et les archétypes correspondant. Au sujet des raisonnements, nous nous basons sur les travaux de Jean-François Rouet et André Tricot, qui se sont intéressés aux processus cognitifs mis en jeu lors d'une recherche d'informations dans une base de données hypertexte par des enfants et des adultes. Leur approche est une approche de la résolution de problème par traitement de l'information. Au sujet des connaissances, nous nous basons sur les travaux de Yves Cartonnet qui s'est intéressé à la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels.

4.2.1. Les raisonnements en jeu dans une recherche d'informations

François Rouet et André Tricot (Rouet et Tricot, 1995 et 1998) ont défini les éléments invariants des activités de recherche d'informations, en se basant sur des modèles précédents et sur des résultats empiriques. Ces résultats sont issus d'observations, par différents chercheurs, de populations allant d'élèves de 12 ans à des adultes, dans des tâches de recherche documentaire dans une base de données hypertexte.

Ils ont décomposé cette activité en trois sous-activités qui se déroulent en cycle : l'*évaluation*, la *sélection* et le *traitement*. Nous les citons ci-dessous.

- L'évaluation «revient à identifier les informations qui manquent pour pouvoir effectuer la tâche » (Rouet et Tricot, 1998, p. 61)
- La sélection est le processus qui conduit à «la décision d'examiner une catégorie d'informations par opposition à toutes les autres catégories disponibles » (p. 63)
- Le traitement est « l'ensemble des processus qui se déroulent lorsque l'utilisateur examine une unité de contenu […] du système d'informations » (p. 65)

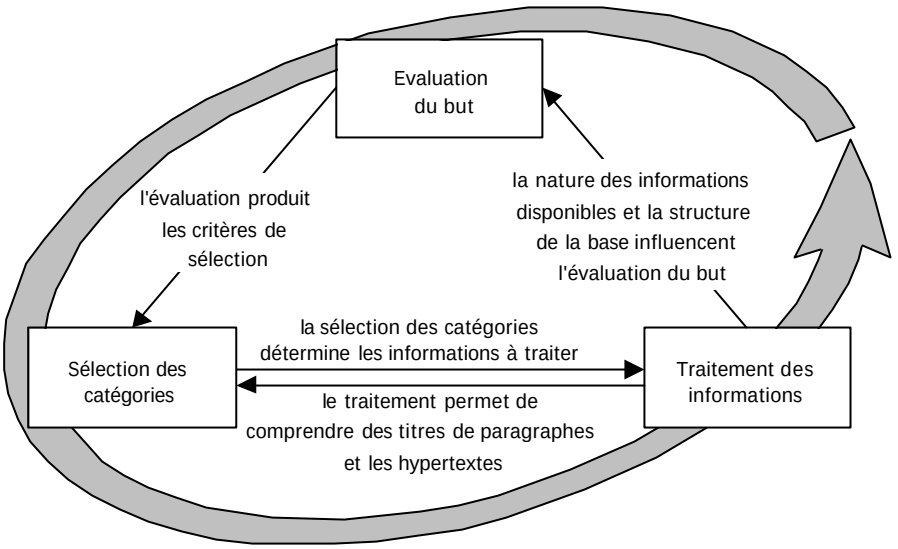


Figure 13 : Les trois activités élémentaires de recherche d'informations et leurs interrelations (synthèse effectuée à partir de Rouet et Tricot, 1998)

Les trois activités élémentaires de la recherche d'informations ont des relations de dépendance étroites (voir figure 13) :

- la nature des informations disponibles et traitées et la structure de la base influencent l'évaluation du but ;
- l'évaluation produit les critères de sélection ;
- la sélection des catégories détermine les unités d'informations à traiter ;
- le traitement permet de comprendre des titres de paragraphes et les hypertextes, qui annoncent les catégories d'information.

Dans le cas de la recherche des produits concurrents dans la base de données, l'*évaluation du but* par les étudiants suppose qu'ils aient traduit la consigne donnée par l'enseignant en termes opérationnels de caractéristiques de performance à trouver et d'archétype à identifier.

La *sélection* consiste à choisir d'une part de cliquer sur une zone hypertexte plutôt qu'une autre, dans la but d'afficher à l'écran la page à laquelle elle donne accès, et d'autre part à choisir de lire un paragraphe plutôt qu'un autre. Cela suppose que l'utilisateur anticipe le contenu (son sens) de l'unité d'informations (page ou paragraphe dans une page) qu'il a choisi de lire, à partir de ce qui l'annonçait (zone hypertexte ou titre de paragraphe).

Enfin, le *traitement* consiste à lire les pages ou les paragraphes que l'on a choisis de lire, de comprendre le sens des informations lues, et de repérer les informations concernant les performances des produits et, pour ceux qui répondent effectivement au cahier des charges, les informations concernant leur principe de fonctionnement. Il s'agira ensuite d'en retenir l'essentiel : est-ce que les gammes de pompes rencontrées

répondent oui ou non au critère de sélection "débit pompé au moins égal à 20 litres par heure et pression admissible au moins égale à 400 bars". Dans le cas où elles répondraient au cahier des charges, il faut aussi retenir leur archétype.

Dans les trois paragraphes suivants, nous analysons les capacités mises en jeu dans ces trois activités élémentaires de recherche d'informations.

4.2.2. Penser la veille concurrentielle pour un réinvestissement en conception

La consigne donnée par l'enseignant doit être rendue opérationnelle :

« Trouvez dans l'intranet documentaire les pompes de la concurrence qui répondent au cahier des charges (CdC). Nous nous en inspirerons pour concevoir notre pompe » doit être interprété par : « Trouver les caractéristiques de pression P et de débit Q des gammes de pompes présentées dans la base de données et vérifier pour chacune que P>400 bar et Q>20 l/h (valeurs indiquées dans le CdC). Si c'est le cas, garder en mémoire le nom de la gamme et du constructeur et trouver son archétype ».

Ce qu'il faut savoir, donc, c'est que dans le cahier des charges, seules des caractéristiques de pression et de débit seront utiles pour effectuer la veille concurrentielle, parce qu'elles déterminent le principe de fonctionnement, les composants principaux et leurs positions relatives, autrement dit l'archétype.

Opérationnaliser la consigne, cela suppose de donner du sens à la recherche documentaire dans l'activité de conception : proposer des archétypes comme points de départ de la conception. Et cela suppose de connaître ces relations entre performances et solutions techniques : ici une dépendance entre les performances de débit et de pression et l'archétype.

Dans la base de données, les constructeurs présentent leurs pompes doseuses par gamme, c'est-à-dire par principe de fonctionnement. De plus, les caractéristiques mises en exergue dans les pages "gamme" sont systématiquement la pression et le débit. Nous pensons donc que la connaissance ou non de la dépendance entre les performances de débit et de pression et l'archétype ne sera pas source de difficultés pour les étudiants. Et la consultation de la base pourrait même permettre une prise de conscience de ce fait et un apprentissage de cette connaissance.

HYPOTHÈSE H3 : Par contre, parce que la veille concurrentielle est une activité nouvelle dans les travaux pratiques de bureau d'études mécaniques, nous faisons l'hypothèse que les étudiants n'auront pas construit de sens à cette recherche documentaire, pour un réinvestissement en conception. Par conséquent ils n'iront pas à la recherche d'informations concernant l'archétype des pompes doseuses.

4.2.3. Garder en mémoire le but à atteindre

Le but de la tâche étant opérationnalisé, faut-il encore qu'il soit présen à l'esprit des étudiants à tout moment de la recherche. Par exemple, si la valeur du débit maximal d'une pompe a été trouvée après une recherche plus ou moins fastidieuse dans la base, et qu'il est supérieur ou égal à 20 litres par heures, il faut encore vérifier que la pression qu'elle peut supporter est au moins de 400 bars. Or nous citons ci-dessous des psychologues qui ont observé un comportement particulier des utilisateurs de bases de données hypertextes, qui consiste à "oublier" le but premier qui les a amenés à consulter la page de la base affichée à l'écran et, par conséquent, à abandonner la recherche dans cette page ou à consulter d'autres pages de la base sans relation apparente avec le but qu'ils s'étaient donnés auparavant (ce que nous appelons "butiner"). Nous citons ci-dessous, à ce sujet, Rouet et Tricot, Rhéaume :

> - « L'utilisateur peut, au bout d'un certain temps de consultation, "oublier" son but initial », « La correspondance partielle entre informations cherchées et informations trouvées peut […] entraîner une légère modification de la structure de but qui conduit le sujet à croire qu'il a terminé la recherche ». (Rouet et Tricot, 1998, p. 62).
> - « La surcharge cognitive est un effet produit chez l'utilisateur qui n'a qu'un écran pour travailler et qui doit s'efforcer de trouver à quoi telle information doit être associée pour être mémorisée et significative. Cette surcharge provient d'une part de la mémoire à court terme qui a tendance à tout oublier en passant d'un écran à l'autre et d'autre part du manque d'acculturation de l'usager-lecteur qui n'a jamais développé cette habitude de lecture et d'apprentissage. […] La désorientation est un effet cognitif produit chez l'usager qui perd la liaison entre son projet de navigation et les cartes ou zones d'information qu'il est en train de lire » (Rhéaume, 1993).

Ce type de comportement serait expliqué par la difficulté à mobiliser simultanément la mémoire du but global poursuivi, la mémoire des résultats intermédiaires de la recherche et la "mémoire de travail". Cette dernière aurait pour fonction de mémoriser de manière temporaire la succession d'actions en cours de réalisation, leurs effets, et les sous-buts visés.

HYPOTHÈSE H4 : Étant données les observations de ces psychologues, nous faisons l'hypothèse que les étudiants rencontreront aussi cette difficulté de garder disponible en mémoire le but opérationnel de la recherche, et, par conséquent, il peut arriver qu'ils ne consultent pas certaines pages "utiles" et ne sélectionnent pas certaines pompes doseuses, par abandon prématuré de la recherche ou par "butinage".

4.2.4. Sélectionner les pages et les paragraphes à lire par anticipation de leur contenu en informations

Pour atteindre le but prescrit, il est nécessaire d'accéder aux informations définissant la valeur du débit maximal et de la pression admissible par les pompes doseuses décrites dans la base de données. Une base de données hypertexte est constituée de pages accessibles en cliquant sur une zone hypertexte qui annonce son contenu par un mot, une phrase ou/et une image. Pour accéder aux "bonnes"

informations, il faut donc sélectionner les "bonnes" pages en anticipant leur contenu uniquement grâce à cette "annonce".

Cette anticipation peut poser problème dans deux cas : soit les étudiants ne possèdent pas les connaissances qui permettent de donner le même sens aux annonces que celui que les constructeurs de pompes doseuses ont voulu leur donner ; soit les étudiants se sont perdus dans l'organisation des menus ou/et des pages, qui est construite justement pour donner du sens à chaque annonce, par associations d'idées. Des difficultés d'anticipation ont effectivement été observées par les psychologues (Foss, 1989, p. 15, Quarteroni, 1996) et les causes citées ci-dessus, liées à l'organisation de menus et des pages, ont déjà été identifiées (Rouet et Tricot, 1998, p. 64).

Le même problème se pose lors de la lecture sélective d'une page constituée de paragraphes, annoncés chacun par un titre. Les étudiants peuvent lire uniquement les paragraphes qui les intéressent pour atteindre leur but, à condition qu'ils anticipent le contenu du paragraphe à partir de son titre.

Quelles sont les connaissances nécessaires pour donner le sens pertinent aux annonces constituée des zones hypertextes et des titres de paragraphe ? Quelles sont les associations d'idées qui sous-tendent l'organisation des pages et des paragraphes ?

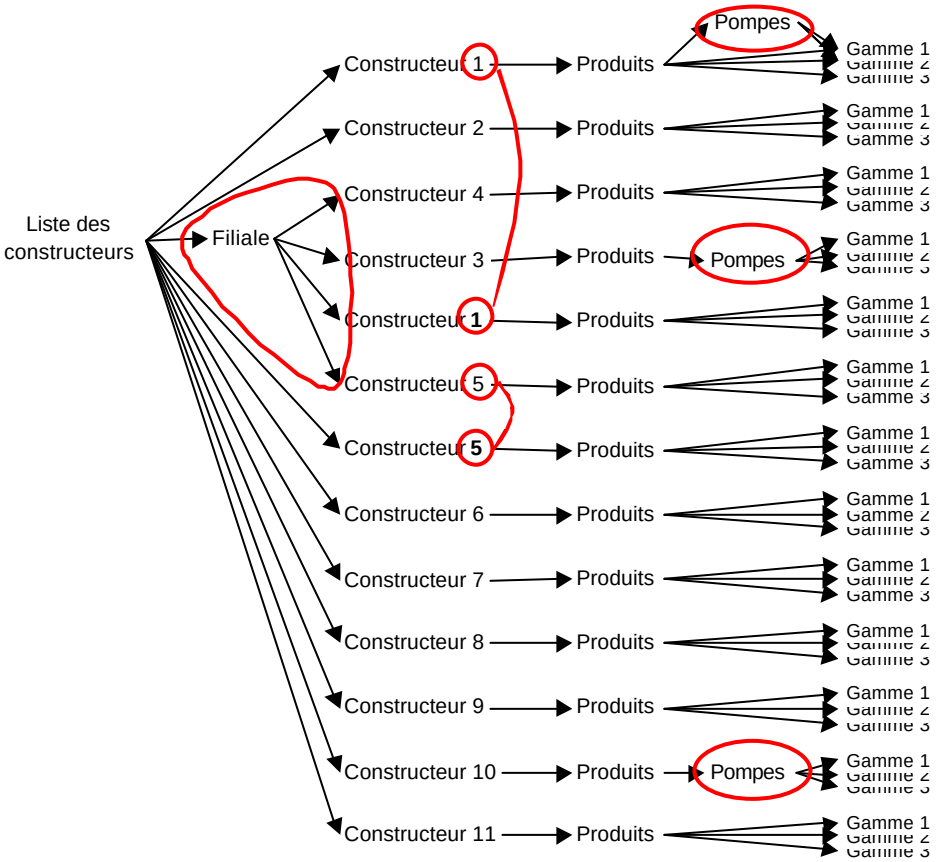


Figure 14 : Catégories d'informations utiles dans la base de données, et relations d'inclusion entre ces catégories. En rouge : les irrégularités.

Les pages de la base et les paragraphes du texte qu'elles contiennent constituent des unités d'informations qui respectent des champs sémantiques, que nous appelons catégories d'informations. Le contenu d'une page est annoncée par un hypertexte, le contenu d'un paragraphe par un titre. La figure 14 représente toutes les unités d'informations utiles dans la base de données, et les catégories auxquelles elles appartiennent. On peut y voir que, systématiquement, toutes les branches sont organisées selon les catégories "constructeur", "produits", et "gamme". A l'intérieur de la catégorie "constructeur", on a accès à la catégorie "produits", et à l'intérieur de la catégorie "produits", on a accès à la catégorie "gamme". On dira que la catégorie "constructeur" inclut la catégorie "produits", qui inclut la catégorie "gamme".

La première remarque que l'on peut faire est que l'organisation des informations de la base de donnée n'est pas symétrique : la nature et le nombre de catégories successives ne sont pas identiques dans toutes les branches "constructeur".

La deuxième remarque, c'est que les annonces, précisées dans le tableau ci-dessous, sont explicites et correspondent sans ambiguïté au contenu des pages ou des paragraphes qu'elles annoncent.

Tableau 9 : Annonces des catégories d'informations dans chaque branche, concernant les produits vendus par les constructeurs

Constructeur	Annonce de la catégorie "produits"	Annonce de la catégorie "pompes"	Annonce de la catégorie "gamme"
1: Dosapro	"Produits" (HT)	"Pompes doseuses" (HT)	Nom des gammes, débit et pression (HT)
		"Pompes doseuses" (TP)	Nom des gammes (HT)
2: Dosatron	Photo de pompe (TP)	-	Tableau de caractéristiques (TP)
3: Miltonroy FCD	"new products" (TP)	-	Nom des gammes (HT)
4: LMI	"products" (HT)	"pumps" (HT)	Nom des gammes (HT)
5: Williams	"products" (HT)	-	Nom des gammes (HT)
6: DKM	"Les pompes à course variable" (TP)	-	Graphe des performances et photos avec nom des gammes (TP)
7: Lewa	"Diagramme des performances" (TP)	-	Graphe des performances (TP)
8: PCM	"products" (HT)	-	Nom des gammes (HT)
9: Instech Lab.	"pumps" (HT)	-	Nom des gammes et débit (HT)
10: Prominent	"products" (HT)	"Metering pumps" (HT)	Nom des gammes, débit et pression (HT)
11: Watson Marlow	"jump to a pump" (HT)	-	Nom des gammes, débit et pression (HT)

Légende : (HT) = texte dans une zone hypertexte, annonçant une page
(TP) = titre de paragraphe, annonçant un paragraphe
- = catégorie inexistante

HYPOTHÈSE H5 : Nous avons montré que, dans la base de données dont disposent les étudiants, les annonces sont explicites, mais que l'organisation des informations n'est pas régulière. Nous nous basons sur des travaux de Jean-François

Rouet et André Tricot (Rouet et Tricot, 1998, p. 64) qui établissent l'influence de l'organisation des informations d'une base de données hypertexte sur l'anticipation, par un utilisateur, des informations qu'elle contient, et nous faisons l'hypothèse que les étudiants auront des difficultés à identifier les pages ou les paragraphes à consulter et à lire, dans les branches "constructeurs" qui n'ont pas la même organisation que les autres, précisés en figure 14. En effet, ils se construiront, lors de leur navigation dans la base, une représentation de l'organisation des informations, qui sera erronée dans les branches où cette organisation est différente, et risquent de ne pas trouver toutes les informations utiles sur les produits concurrents.

4.3. Partager l'utilisation de la base de données et coordonner ses actions avec celles des autres

Pendant la formation Codimi, les étudiants sont en groupes de deux ou trois étudiants. Les consignes sont adressées aux groupes. Les productions attendues sont celles des groupes, et non des étudiants, individuellement.

Concernant la recherche documentaire, l'ergonomie du poste de travail d'un groupe d'étudiants est telle qu'un seul étudiant à la fois peut manipuler la souris de l'unique ordinateur dont ils disposent. Les autres peuvent lire à l'écran les pages choisies, prendre des notes, communiquer entre eux et avec celui qui a la souris en main.

La navigation dans la base de données sera collective si celui qui a la souris en main prend en compte ce que les autres lisent à l'écran, à quel rythme ils le lisent, et selon quel raisonnement ils choisissent de lire tels ou tels pages ou paragraphes. Elle sera au contraire individuelle s'il navigue au gré des pages qu'il a lui-même sélectionnées, sans écouter ni demander ce que les autres veulent lire.

Le problème des apprentissages individuels dans une activité collective se pose. L'apprentissage individuel de l'outil informatique navigateur + hypertexte, c'est-à-dire la construction des schèmes d'usage et des schèmes d'action instrumentée nécessaires à la recherche documentaire, est favorisé par la manipulation de la souris. Il serait donc souhaitable que tous les étudiants prennent successivement en main la souris. L'apprentissage individuel des capacités à coordonner ses actions avec d'autres membres d'une équipe dans une production commune est favorisé par la participation active à une production collective. Il serait donc souhaitable que tous les étudiants participent à la navigation dans la base de données, par des communications et des actions coordonnées : prise en main de la souris, prises de notes.

Cependant, deux tendances ont été observées, l'une par Philippe Meirieu (Meirieu, 2000a) et l'autre par Robert Pléty (Pléty, 1996), qui vont contre ces deux idéaux d'organisation. D'après Philippe Meirieu, un comportement spontané des élèves qui travaillent en groupe dans le cadre d'une activité scolaire est la spécialisation de chacun dans ce qu'il sait déjà faire, dans un but de productivité optimale du groupe. Selon Robert Pléty, il existerait des profils d'élèves, et en particulier celui

d' « indépendant ». C'est celui d'un élève qui « a tendance à ne pas s'exprimer et participe peu à la résolution du problème » (Pléty, 1996, p.106-108).

HYPOTHÈSE H6 : Les tendances à la spécialisation et à s'isoler du groupe, observées respectivement par Philippe Meirieu et Robert Pléty, nous conduisent à faire les deux hypothèses suivantes. Premièrement les étudiants d'un même groupe ne manipuleront pas tous la souris de manière équitable, chacun leur tour. Deuxièmement, dans certains groupes, un étudiant peut s'isoler, sans participer aux échanges ni à la production collective. Cela risque de nuire aux apprentissages individuels des étudiants, concernant l'utilisation de la base de données d'une part et la capacité à coordonner ses actions dans un travail de groupe d'autre part.

4.4. Bilan des hypothèses

Nous rappelons ci-dessous les hypothèses de sources de difficultés que nous avons émises, concernant la tâche n°1 de recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte. Entre parenthèses, nous rappelons la référence du paragraphe dans lequel nous avons construit et énoncé les hypothèses. En bilan, les difficultés des étudiants peuvent donc trouver leur source dans l'utilisation des outils informatiques (H1 et H2), dans la recherche d'informations utiles à réinvestir en conception (H3, H4, H5) et le travail et l'apprentissage collectifs (H6).

- H1 (II-4.1.3) : Les schèmes d'usage du logiciel de navigation, qui permettent de remonter dans l'arborescence de la base de données hypertexte, ne sont pas construits. Par conséquent, les étudiants n'utiliseront pas de manière optimale les fonctionnalités du logiciel de navigation, lorsqu'ils veulent remonter dans l'arborescence de la base
- H2 (II-4.1.4) : Les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée de l'"ascenseur" du logiciel de navigation sont construits, mais pas les schèmes d'action instrumentée de la fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page". Par conséquent, les étudiants n'utiliseront pas cette dernière fonctionnalité.
- H3 (II-4.2.2) : Les étudiants ne donnent pas de sens à la recherche documentaire dans une activité de conception. Par conséquent, ils effectuent la recherche sans chercher les archétypes des produits concurrents.
- H4 (II-4.2.3) : Les étudiants ne gardent pas disponible en mémoire le but opérationnel de la recherche. Par conséquent, ils abandonnent prématurément la recherche commencée dans une branche de la base, et effectuent une recherche par "butinage", sans lien avec la consigne.
- H5 (II-4.2.4) : Les étudiants se font une représentation erronée de l'organisation des informations de la base de données, dans les branches de la base où cette organisation est différente. Par conséquent, ils ne trouvent pas toutes les informations utiles à la recherche des produits concurrents.

- H6 (II-4.3.1) : La tendance spontanée des étudiants à la spécialisation, et, pour certains, à l'individualisme, peut avoir pour conséquence la manipulation inéquitable de l'ordinateur et l'isolement d'un étudiant, qui ne prendrait pas part aux communications ni à la navigation collective.

5. Méthodologie

Dans cette section 5, nous décrivons et nous justifions le dispositif d'observation que nous avons mis en place afin de valider ou d'infirmer les hypothèses précédentes, concernant les difficultés des étudiants à effectuer la recherche des produits concurrents dans la base de données hypertexte. Nous avons fait le choix d'observer la phase de "recherche libre" (voir tableau 5), afin de repérer les raisonnements et stratégies spontanés des étudiants.

5.1. Population observée

Nous ne voulons pas étudier l'influence de l'origine des étudiants sur leurs difficultés, ni l'influence de la constitution des groupes, mais nous voulons mettre en évidence le maximum de types différents de difficultés, auxquelles des étudiants pourraient être confrontés. Aussi avons-nous constitué les groupes pour avoir toutes les configurations possibles, concernant la distribution des origines scolaires par groupe. Toutefois il a fallu respecter les contraintes de terrain, à savoir que des groupes d'environ 15 étudiants, qui devaient suivre simultanément la formation Codimi, avaient déjà été constitués pour des raisons d'organisation globale de la licence de technologie mécanique. Ces deux contraintes respectées, il ne restait que peu de possibilités de constitution des groupes, qui ont été arrêtées par tirage au sort.

Le dispositif d'observation a permis d'observer 11 groupes d'étudiants dont le tableau 10 donne la liste. Nous y précisons le nombre d'étudiants et s'ils ont eu une formation technologique antérieure à la licence de technologie mécanique.

Dans la dernière colonne du tableau, on peut remarquer que la durée de la "recherche libre", qui est le temps accordé aux étudiants pour effectuer cette tâche, est différente selon les groupes. Pour des raisons méthodologiques, nous souhaitions qu'elle soit identique pour tous les groupes. Mais, en conditions réelles d'enseignement, c'est l'enseignant qui gère sa classe et les problèmes d'organisation en temps réel. De plus, six enseignants différents sont intervenus, selon les groupes. C'est ce qui explique ces écarts entre groupes. Il faudra les prendre en compte, si ce n'est dans nos résultats, au moins dans la discussion des résultats.

Tableau 10 : Constitution des groupes filmés et durée des séquences de "recherche libre"

Réf. groupe	Réf. Étudiants	Nombre d'étudiants	Durée de la "recherche libre" (min)
A1	A1-1 ; A1-2 ; A1-3	3	26
A2	A2-1 ; A2-2	2	26
B1	B1-1 ; B1-2 ; B1-3	3	29
B2	B2-1 ; B2-2 ; B2-3	3	30
C1	C1-1 ; C1-2 ; C1-3	3	43
C2	C2-2 ; C2-3	2	42
D1	D1-1 ; D1-2 ; D1-3	2 (54% du tps.) puis 3 (46% du tps.)	39
D2	D2-1 ; D2-2	2	39
E1	E1-1 ; E1-2 ; E1-3	3	33
F1	F1-1 ; F1-3 ; F2-2	3	38
F2	F2-1 ; F2-3 ; F1-2	3	38
	1 gr. sans formation techno 6 gr. avec formation techno 4 gr. mixtes	3 groupes de 2 ét. 7 groupes de 3 ét. 1 groupe de 2 puis 3	Durée moyenne : 34,8 Écart type : 6,2

Les références d'étudiants soulignées indiquent que ces étudiants n'ont pas eu de formation technologique antérieure à l'année en cours. Les autres en ont eue. Les premiers ont un DEUG : MIAS, SCM, SPI, TI. Les deuxièmes ont un BTS CPI, redoublent la licence de technologie mécanique ou sortent de CPGE : TSI, PSI, PT.

5.2. Description du dispositif d'observation

La mesure des difficultés des étudiants consiste à mesurer les écarts entre la production effective des étudiants et la production attendue (que nous avons donnée à la section 2) d'une part, et les écarts entre les méthodes mises en oeuvre par les étudiants et la méthode de référence (section 3). Ces écarts, avec d'autres indices que nous préciserons, permettent aussi de valider les hypothèses de sources de difficultés (section 3).

5.2.1. Mesure de la production effective des étudiants

La production effective des groupes, c'est-à-dire le nombre et la nature des pompes sélectionnées comme répondant au cahier des charges, a pu être identifié grâce au discours des étudiants, au cours de leur recherche. Les indices utilisés sont l'énoncé du nom de la gamme de pompes doseuses ou sa désignation à l'écran d'ordinateur avec la main, par au moins un étudiant du groupe, associée à l'expression de la sélection de celle-ci (par exemple : « celle-là, on la prend »), avec l'accord ou le mutisme des autres étudiants du groupe. La prise en note du nom de la gamme confirme cette sélection.

Nous avons aussi récolté les feuilles transparentes de rétro-projection, sur lesquelles chaque groupe devait noter la liste des pompes trouvées pendant les 60 minutes de recherche, c'est-à-dire après 30 minutes de "recherche libre", tâche à laquelle nous nous intéressons uniquement, plus 30 minutes avec guidage, avec notamment l'apport du diagramme comparatif des performances et du tableau des sous-structures.

Ces résultats à 60 minutes (recherche guidée) comparés à ceux à 30 minutes (recherche libre), nous permettront de voir l'influence du temps supplémentaire accordé et de l'introduction des outils précédents, porteurs des concepts de *performance* et de *sous-structure*, sur la production des étudiants. L'évolution des résultats sera un indice de la capacité des étudiants à opérationnaliser seuls, sans aide de l'enseignant, la recherche documentaire pour un réinvestissement en conception.

5.2.2. Mesure des méthodes mises en œuvre et validation des hypothèses

La méthode de référence, que nous avons précisée à la section 3 de ce chapitre II, consiste à accéder à chaque branche "constructeur", puis accéder aux pages "gamme", puis aux caractéristiques de pression et débit des gammes de pompes doseuses, et à sélectionner celles dont ces caractéristiques sont satisfaisantes.

Nous voulons mettre en évidence les méthodes mises en œuvre par les étudiants, pour les comparer à la méthode de référence précédente. Il s'agit donc d'établir :

- les branches "constructeurs" consultées par les étudiants
- les pages "gamme" visitées
- les caractéristiques de pression et de débit recherchées, repérées et lues
- les gammes de pompes sélectionnées, celles qui sont éliminées, et les critères de sélection employés

Le tableau ci-dessous rappelle nos hypothèses et donne les descripteurs qui permettent de les valider.

Michaël Huchette – 2002

Tableau 11 : Liste des descripteurs permettant de valider les hypothèses

Réf. hypothèse	Énoncé de l'hypothèse	Descripteurs
H1 (II-4.1.3)	Les Sh.Us. du navigateur pour remonter l'arborescence de la base ne sont pas construits	Fonctionnalités du navigateur utilisées en cliquant à l'écran - pages consultées en remontant dans l'arborescence
H2 (II-4.1.4)	Les Sh.Us. et les Sh.A.I. de l'"ascenseur" sont construits, mais pas les Sh.A.I. de la fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page"	Fonctionnalités du navigateur utilisées en cliquant à l'écran - intensions exprimées par les étudiants sur les informations qu'ils cherchent
H3 (II-4.2.2)	Les étudiants ne donnent pas de sens à la recherche documentaire dans une activité de conception. Don ils ne chercheront pas les archétypes.	Intensions exprimées par les étudiants sur les informations qu'ils cherchent - réponses à l'entretien semi-directif de vérification de la compréhension de la consigne (section 5.2.3)
H4 (II-4.2.3)	Les étudiants ne gardent pas dipolaire en mémoire le but opérationnel de la recherche, donc abandon prématuré de consultation d'une branche et "butinage"	Succession chronologique des pages "gamme" consultées par les étudiants, en comparaison aux pages à consulter - intensions exprimées par les étudiants sur les informations qu'ils cherchent
H5 (II-4.2.4)	Représentation erronée de l'organisation des informations de la base de données, dans les branches de la base où cette organisation est différente	Succession chronologique des pages "constructeur" consultées par les étudiants - intensions exprimées par les étudiants sur les informations qu'ils cherchent
H6 (II-4.3.1)	La tendance spontanée des étudiants à la spécialisation, et , pour certains, à l'individualisme, peut avoir pour conséquence la manipulation inéquitable de l'ordinateur et l'isolement d'un étudiant, qui ne prendrait pas part aux communications ni à la navigation collective	Étudiant qui a la souris en main, communications entre les étudiants

* Sh.Us. : schème d'usage
* Sh.A.I. : schème d'action instrumentée

En bilan, afin d'identifier les méthodes mises en œuvre par les étudiants, et de valider les hypothèses de sources de difficultés, nous devons établir :

- Les pages consultées par les étudiants, en particulier les pages "constructeur" et "gamme"
- La succession chronologique des pages "constructeur" et "gamme" consultées
- Les zones de page lues par les étudiants
- Le discours des étudiants, en particulier les critères de sélection d'une page consultée et d'un paragraphe lu et les critères de sélection des gammes de pompes
- L'étudiant qui a la souris en main, le clavier, ceux qui lisent l'écran, ceux qui prennent des notes

Pour pouvoir observer ces indicateurs, nous avons filmé les étudiants. Le caméscope était disposé au-dessus du poste de travail des groupes d'étudiants, de telle sorte que son champ visuel comprenne la tête des étudiants (pour voir la direction de leur regard), leurs mains (pour voir ce qu'ils manipulent), les documents disposés sur la table (pour voir s'ils lisaient la consigne ou s'ils prenaient des notes) et l'écran de

l'ordinateur, vu de face (pour voir la page en cours de consultation). Un microphone de table, disposé devant les étudiants et branché au caméscope par une allonge, a permis d'enregistrer, sur la cassette vidéo, le discours des étudiants et le bruit de l'enfoncement des touches du clavier et de la souris.

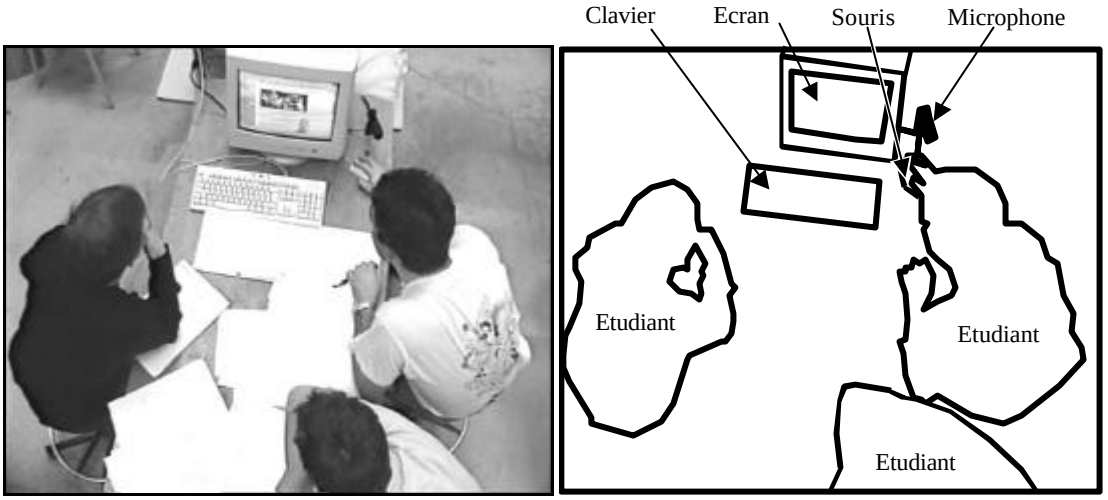


Figure 15 : Champ de la caméra filmant un groupe en cours de consultation de la base de données hypertexte

Nous précisons en (5.3) le traitement que nous avons fait des films.

5.2.3. Mesure de la compréhension de la consigne

Pour vérifier que les étudiants avaient bien compris le but de la consigne et pour identifier comment ils l'interprétaient de manière opérationnelle, nous avons aussi effectué un court entretien semi-directif collectif des groupes, environ 20 minutes après le début de la recherche, pendant environ 2 minutes. Cet entretien devait "obliger" les étudiants à exprimer, s'ils ne l'avaient pas déjà fait lors de leurs communications, les critères de recherche qui les guidaient dans leur recherche. Cet entretien était basé sur 3 questions :

1-"Quel est le but que vous poursuivez ?" Puis, si la réponse n'est pas assez précise : "qu'est-ce que ça veut dire : une pompe qui répond au cahier des charges ?"

2-"Comment est-ce que vous procédez ?"

3-"Où est-ce que vous en êtes ? A quel constructeur êtes vous arrivé ? Combien de pompes avez-vous trouvées ?".

5.3. Traitement des films

Nous avons visionné les films et retranscrits sur papier. Dans ce paragraphe, nous décrivons la méthode que nous avons employée pour retranscrire les films. Ce sont ces données "transcrites" qui seront ensuite l'objet d'une analyse.

5.3.1. Grille de retranscription

Nous avons d'abord construit une grille de retranscription, qui prend en compte l'ensemble des descripteurs donnés en section 5.2.2, dans le but d'établir les méthodes mises en œuvre par les étudiants, et de valider les hypothèses de sources de difficultés. Le tableau 12 présente cette grille.

Tableau 12 : Grille de retranscription des films (tâche n°1)

déroulement chronologique

	1- Mode opératoire de retour	2- Pages et liens	3- Activité dans la page	4- Critères de choix de lien énoncés	5-Critères de choix de pompe énoncés
1		*Nom de page 1*			
2		? 1			
3		*Nom de page 2*			
4	*Page précédente x2*	? 1			
		⋮			
		Nom de page n			

Les descripteurs utilisés sont les suivants :

- Les pages consultées (identifiées par leur nom) et les liens empruntés (représentés par une flèche "? ") sont inscrits dans la colonne 2. Le numéro de référence de l'étudiant qui manipule la souris est apposé au signe "? ".
- Le mode opératoire de retour à une page précédente est inscrit en colonne 1, lorsque le lien indiqué en colonne 2 correspond au retour à une page précédente. Par exemple, "*page précédente*" signifie que c'est le bouton "page précédente" qui a été utilisé. "*page précédente* x3" signifie que le bouton "retour" a été utilisé trois fois de suite.
- Les activités de navigation et de lecture de la page en cours de consultation sont indiquées dans la colonne 3. En particulier on y a noté si les étudiants défilent lentement la page (à la vitesse d'une lecture exhaustive du texte) ou rapidement (à la vitesse d'une lecture des titres uniquement), s'ils s'arrêtent à un endroit particulier de la page, à quel endroit et s'ils en parlent.
- Les critères de choix des liens sélectionnés ou non, lorsqu'ils sont énoncés, sont indiqués en colonne 4, en face du lien correspondant, marqué par "? " en colonne 2.
- Les critères de choix des pompes, sélectionnées ou éliminées, lorsqu'ils sont énoncés, sont indiqués en colonne 5, en face de la page consultée correspondante, identifiée par son nom en colonne 2. Le nom des pompes sélectionnées et éliminées est aussi indiqué.

Les grilles concernant la navigation des 11 groupes observés sont regroupées en annexe 2 pages 46 à 67.

5.3.2. Représentation graphique de la navigation

La connaissance de la base de données, c'est-à-dire de ses pages, des hyperliens qui les lient, et des informations qu'elles contiennent, nous a permis de construire une représentation graphique du "modèle rationnel" de la recherche des produits concurrents. Il s'agit des pages à consulter et des hyperliens à sélectionner, de manière nécessaire et suffisante, pour effectuer une recherche exhaustive et vérifier si les pompes doseuses décrites dans la base de données ont des caractéristiques de débit et de pression satisfaisant le cahier des charges imposé.

La figure 16 représente l'arbre de navigation correspondant à ce "modèle rationnel". Les pages y sont représentées par un rectangle contenant le nom de la page. Une flèche reliant un rectangle 1 à un rectangle 2 est un hyperlien activé dans la page 1 et qui donne accès à la page 2. Le texte figurant sur cette flèche est le texte contenu dans la page 1, annonçant la page 2.

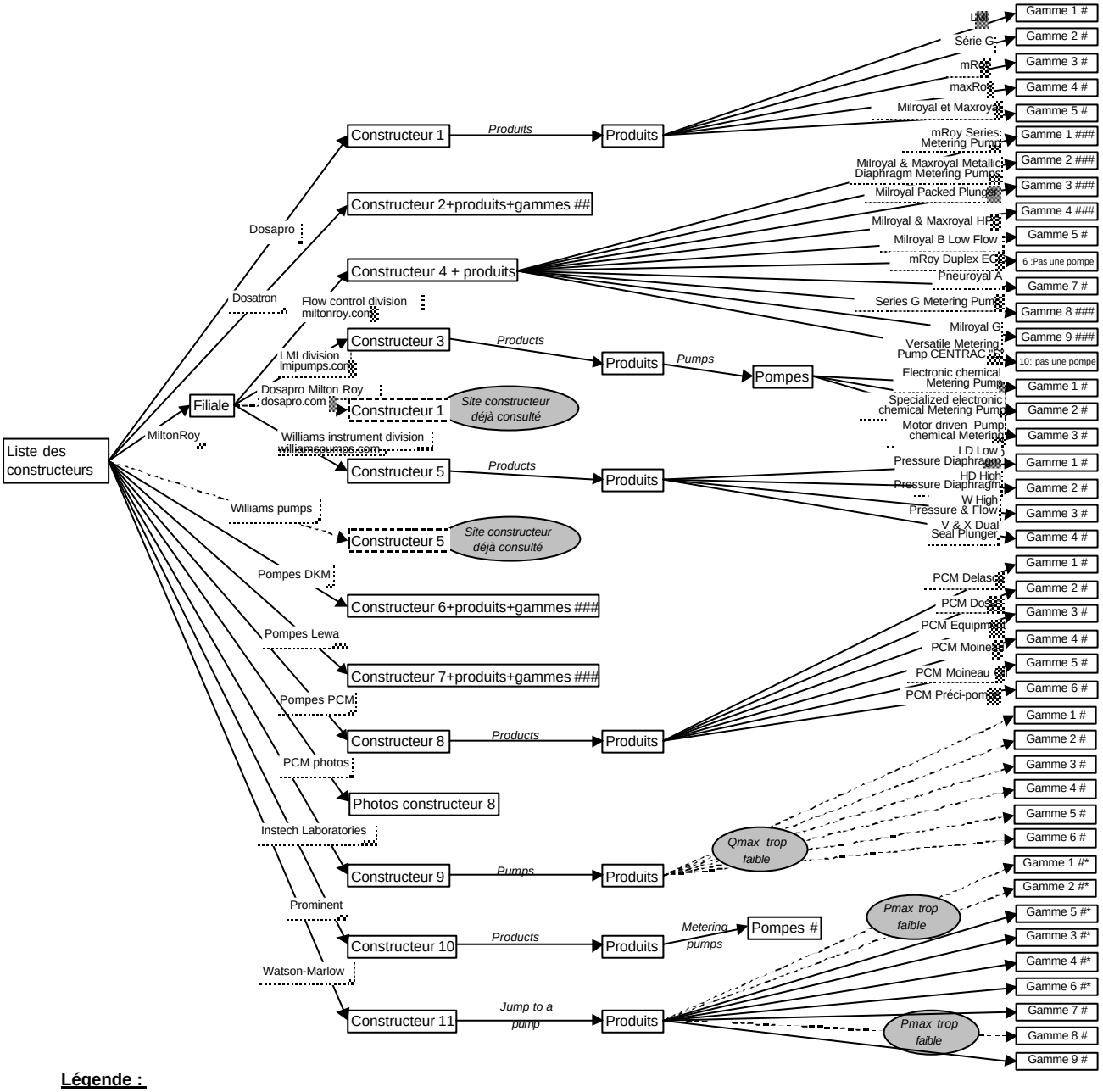


Figure 16 : Arbre de navigation correspondant au "modèle rationnel"

En annexe 2, des pages 68 à 78, nous avons représenté en trait fort les pages et hyperliens consultés par les étudiants, et sur fond gris les pages consultées mais qui ne sont pas dans le modèle rationnel.

6. Résultats : difficultés et sources de difficultés observées

Dans ce paragraphe "Résultats", nous donnons d'abord la production effective des étudiants et la méthode mise en œuvre par chaque groupe observé, en comparaison à la production attendue (donnée en section 2) et à la méthode de référence (section 3), puis les résultats empiriques qui permettent de valider ou non les hypothèses de sources de difficultés formulées.

6.1. Productions effectives des étudiants

Le tableau 13 montre la production de chaque groupe. L'indicateur utilisé ici est le nombre de gammes de pompes sélectionnées par les étudiants, identifiées dans leur discours au cours de leur recherche. La première colonne comptabilise celles qui satisfont effectivement le cahier des charges, ce sont alors des sélections correctes. Les étudiants devaient trouver quatre gammes. La deuxième colonne comptabilise celles qui ne le satisfont pas, elles correspondent à des sélections incorrectes.

Tableau 13 : Productions des 11 groupes filmés, à la recherche des archétypes dans la base hypertexte.

Groupe	Nombre de pompes correctes sélectionnées (sur 4)	Nombre de pompes incorrectes sélectionnées
A1	2	0
A2	4	1
B1	2	0
B2	2	0
C1	4	1
C2	2	0
D1	1	0
D2	4	0
E1	2	0
F1	0	0
F2	2	2
Nombre de groupes en échec	8 sur 11	3 sur 11

(cases grisées = écarts par rapport à la production attendue de 4 / 4)

Au total un seul groupe (D2) sur 11 a répondu correctement à la consigne : il a listé les 4 gammes correctes et n'en a pas sélectionné d'autres.

Ces "échecs" repérés sur les productions, pour la majorité des groupes, nous conduisent à penser que les étudiants ont effectivement rencontré des difficultés.

La figure 17 montre l'évolution observée des productions après que les étudiants ont rendu publique, dans la classe, le nom des pompes doseuses qu'ils ont trouvées, et que l'enseignant ait distribué deux grilles de lecture des produits concurrents : le diagramme comparatif des performances et le tableau des sous-structures. Les étudiants ont aussi disposé de 30 minutes supplémentaires. Une flèche représente l'évolution de la production d'un groupe d'étudiants. Notons que 6 flèches "montent", 2 sont horizontales et 3 "descendent". Cela signifie que la production a progressé pour 6 groupes sur 11, il est resté le même pour 2 groupes (plus exactement il est resté dans la même classe de production, "réussite partielle"), et il a régressé pour 3 groupes.

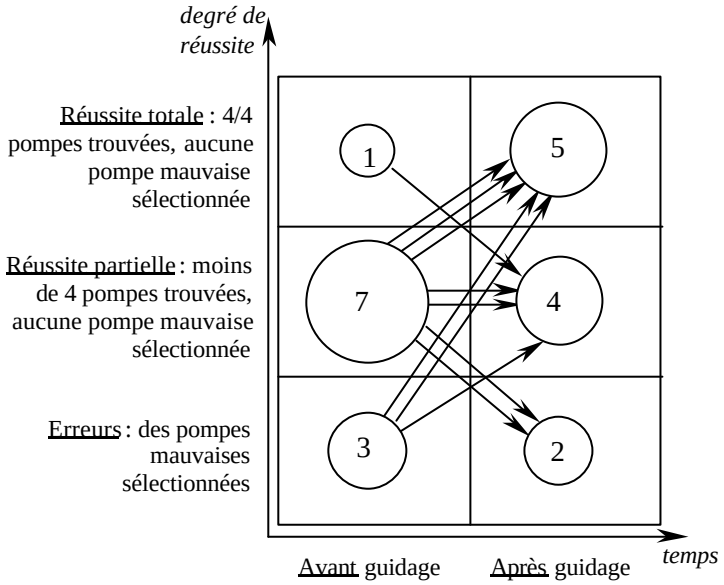


Figure 17 : Evolution des productions après guidage par le graphe des performances et le tableau des sous-structures

6.2. Méthodes mises en œuvre par les étudiants

6.2.1. Écarts entre méthodes effectives et méthode de référence

Le tableau 14 fait apparaître, par des cases grisées, les écarts entre la méthode mise en œuvre par les étudiants et la méthode de référence (MR). Cette dernière est la méthode qui permet de réussir la tâche de recherche des produits concurrents dans la

base de données hypertexte. Nous retrouvons les quatre étapes de cette MR dans les 4 colonnes du tableau, numérotées I, II, III et IV.

Nos observations nous permettent d'établir quatre faits.

Premièrement, parmi les 11 groupes, aucun n'a accédé de manière systématique à toutes les branches de la base. Selon les groupes, de 3 à 10 branches ont été visitées, sur les 11 de la base de données. Pour 8 groupes, cela s'explique en partie par un manque de temps : les étudiants visitent une à une les branches "constructeur" en suivant de haut en bas la liste des constructeurs présentée dans la première page de la base de données, mais n'arrivent pas au bout de la liste dans le temps qui leur est imparti. Il s'agit des groupes A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1 et D2.

Deuxièmement, aucun groupe n'a accédé de manière systématique à toutes les pages "gamme" des branches qu'il a visitées. Pourtant, ces pages "gamme" contiennent les informations caractérisant les produits des constructeurs, et sont les seules qui permettent aux étudiants de décider si oui ou non ils satisfont le cahier des charges.

Troisièmement, en grande majorité (9 sur 11), les groupes ont systématiquement trouvé les caractéristiques de pression et de débit dans les pages "gamme" qu'ils ont consultées.

Quatrièmement, 6 groupes sur 11 n'ont pas systématiquement sélectionné les gammes de pompes identifiées selon les critères de débit et de pression.

Tableau 14 : Ecarts entre la méthode mise en œuvre par les groupes à la recherche des archétypes dans la base hypertexte et la méthode attendue

Groupe	I. Accès systématique à toutes les branches "constructeur"	II. Dans une branche, accès systématique à toutes les pages "gamme" informant sur les pompes	III. Dans une page "gamme", accès systématique aux caractéristiques de pression P et débit Q	IV. Si P et Q trouvés, sélection systématique des gammes correctes par la P et Q
A1	NON	NON	oui	NON
A2	NON*	NON	oui	NON
B1	NON	NON	oui	oui
B2	NON	NON	oui	oui
C1	NON	NON	oui	NON
C2	NON	NON	oui	oui
D1	NON	NON	oui	NON
D2	NON	NON	oui	oui
E1	NON	NON	NON	oui
F1	NON	NON	NON	NON
F2	NON	NON	oui	NON
Écarts de méthode pour :	11 gr. sur 11	11 gr. sur 11	2 gr. sur 11	6 gr. sur 11

6.2.2. Écarts de méthode à l'origine des écarts de production

Pour chaque groupe, des écarts par rapport à la méthode de référence ont des conséquences sur leur production. La figure 18 met en évidence l'origine, parmi les écarts de méthode décrits précédemment, de chaque échec observé sur les productions.

Une chaîne d'hexagones représente la suite d'étapes de la méthode de référence, de haut en bas. Les rectangles grisés représentent des échecs. Les bulles représentent des écarts de méthode. Apposé à chaque bulle, nous avons noté le nom des groupes concernés par l'écart de méthode, ayant en plus pour conséquence un échec. Cette figure fait ressortir les "moments critiques" à l'origine des échecs.

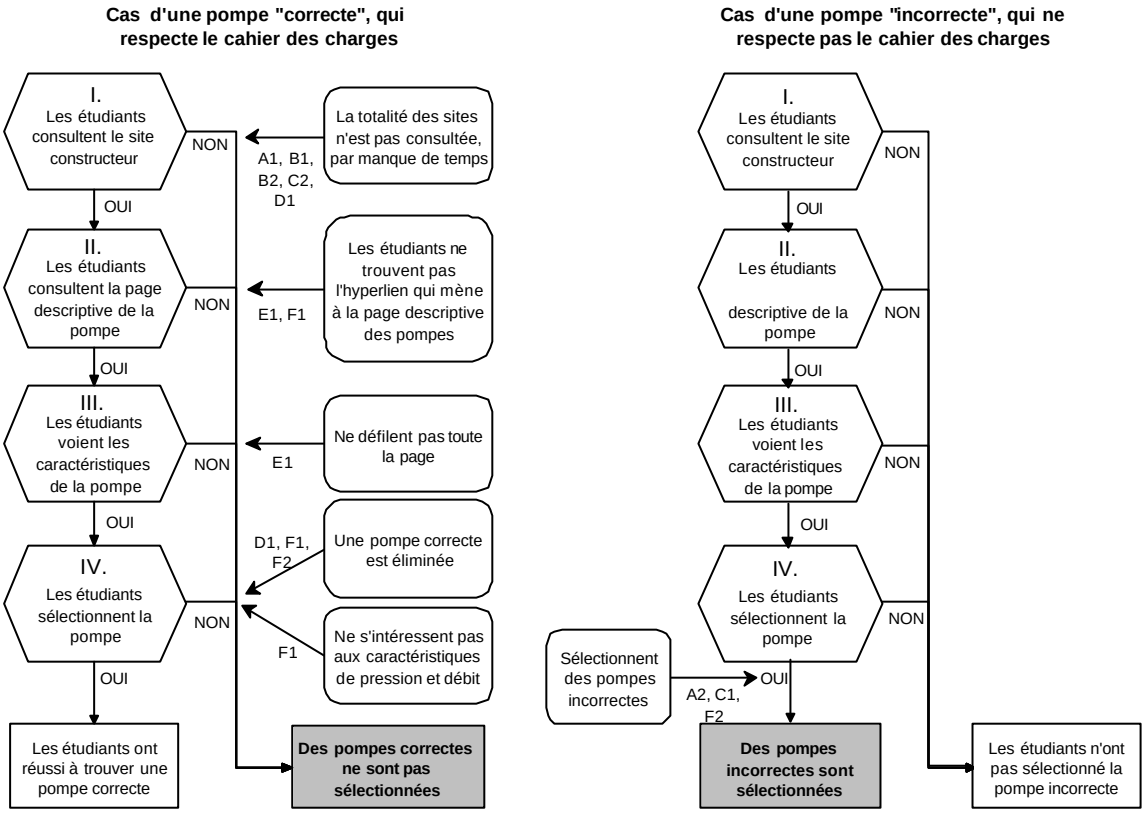


Figure 18 : Conséquences des écarts de méthode observés sur les échecs des groupes

Dans la suite, nous dégageons les observations que nous avons faites qui permettent d'expliquer les écarts de production et de méthode précédents et de valider ou d'infirmer nos hypothèses de sources de difficultés.

6.3. Difficultés à utiliser l'outil informatique pour accéder aux informations contenus dans la base de données

Intéressons-nous d'abord aux schèmes d'action instrumentée du logiciel de navigation, qui permettent aux étudiants de remonter dans l'arborescence de la base de données.

6.3.1. Une utilisation pas optimale du navigateur pour remonter dans l'arborescence de la base de données

L'hypothèse que nous avons faite à ce sujet est : « H1 (II-4.1.3) : Les schèmes d'usage du logiciel de navigation, qui permettent de remonter dans l'arborescence de la base de données hypertexte, ne sont pas construits. Par conséquent, les étudiants n'utiliseront pas de manière optimale les fonctionnalités du logiciel de navigation, lorsqu'ils veulent remonter dans l'arborescence de la base ».

Le tableau 15 montre, en première colonne, les modes opératoires possibles pour effectuer ces remontées de plusieurs niveaux. Les modes opératoires sont numérotés dans l'ordre décroissant d'économie, en termes de nombre d'opérations. Un utilisateur qui aurait construit les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée du logiciel utiliserait le mode opératoire n°1 (bouton "page de démarrage") pour retourner à la première page, et le mode opératoire n°2 (menu déroulant des pages précédentes) pour revenir à une autre page.

Tableau 15 : Modes opératoires utilisés par les étudiants pour remonter de plusieurs niveaux dans l'arborescence de la base de données hypertexte.

Mode opératoire ? **Groupe**?	A1 aa*	A2 aa	B1 baa	B2 aaa	C1 aaa	C2 bb	D1 bba	D2 aa	E1 aaa	F1 baa	F2 baa
1. Bouton "page de démarrage"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8*(8)*
2. Menu déroulant des pages précédentes	2*(1)*	0	0	4*(4)*	0	0	2*(0)*	0	0	0	1*(0)*
4. Bouton "page précédente" plusieurs fois de suite	2*(2)*	4*(2)*	4*(2)*	1*(0)*	3*(2)*	1*(1)*	3*(0)*	6*(5)*	4*(3)*	4*(3)*	2*(2)*
4. Modification de l'adresse de la page dans le champ "adresse"	0	0	1*(1)*	0	0	0	0	1*(1)*	0	0	0
5. Historique des pages consultées	0	0	0	0	0	0	0	0	Ouvert puis refermé	0	0

Légende :
Entre parenthèses : le nombre de retours qui amènent à la première page "liste des constructeurs"
* a = étudiant ayant eu une formation technologique avant l'année universitaire en cours
b = étudiant n'ayant pas eu de formation technologique avant l'année universitaire en cours

L'observation et la construction des arbres de navigation (annexe 2, pp. 68-78) permettent d'établir que les groupes remontent de 7 à 27 fois dans l'arborescence de la base, lors de leur recherche des produits concurrents. Au total, les 11 groupes effectuent 190 "remontées", dont 66% sont des retours à la page précédente (grâce au bouton "page précédente") et 34% sont des remontées de plusieurs niveaux dans l'arborescence de la base de données. Parmi les remontées de plusieurs niveau, un peu plus de la moitié sont des retours à la première page "liste des constructeurs" (la racine de la base).

Or, dans le tableau 15, nous voyons que, sur les 10 groupes qui reviennent à la page "liste des constructeurs", un seul utilise le bouton "page de démarrage". De plus, seulement 4 groupes utilisent le menu déroulant des pages précédentes. Le mode opératoire de loin le plus utilisé est le bouton "page précédente", activé plusieurs fois de suite. 5 groupes n'utilisent que lui.

En conclusion, l'utilisation du logiciel de navigation n'est donc pas optimale, même si cela n'a pas de conséquence directe sur la production des étudiants. Les schèmes d'usage du logiciel de navigation qui permettent de revenir directement à la racine de la base ne sont pas construits, par 5 groupes sur 10.

Les deux paragraphes suivants concernent l'utilisation du navigateur pour accéder aux informations contenues dans une page consultée et pour les visualiser à l'écran. L'hypothèse que nous avons formulée est la suivante : « H2 (II-4.1.4) : Les schèmes d'usage et les schèmes d'action instrumentée de l'"ascenceur" du logiciel de navigation sont construits, mais pas les schèmes d'action instrumentée de la fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page". Par conséquent, les étudiants n'utiliseront pas cette dernière fonctionnalité »

6.3.2. Les indications fournies par l'ascenseur ne sont pas systématiquement utilisées

L'"ascenseur", qui permet de faire défiler une page à l'écran, est utilisé de manière systématique par les étudiants les étudiants. Cela ne semble pas être une source de difficulté.

Cependant, le groupe E1 n'a pas sélectionné une pompe correcte dont les caractéristiques étaient pourtant indiquées dans la page que les étudiants consultaient. Cette page étant plus grande que l'écran, les caractéristiques n'étaient pas affichées à l'écran, et les étudiants ne sont pas "descendu" dans cette page à l'aide de "l'ascenseur". A l'écran, seules figuraient les caractéristiques de la première gamme de pompes présentée par le constructeur (dont les caractéristiques n'étaient pas satisfaisantes pour le cahier des charges). Les étudiants pouvaient-ils s'attendre à trouver les caractéristiques d'autres gammes dans cette page ? Oui, puisqu'elle était annoncée par la proposition "pompes doseuses". Il semble que les étudiants n'aient pas "vu" que la page contenait d'autres informations, sur d'autres gammes de pompes, alors que les boutons de l'ascenseur indiquaient qu'une partie de la page n'était pas affichée à l'écran. Nous supposons que "l'ascenseur" n'a pas été utilisé comme indicateur de la taille de la page.

Certes, la forme graphique de la page peut aussi permettre à l'utilisateur de repérer un affichage partiel de la page. En effet, une unité graphique, telle qu'une image, un mot ou un paragraphe, si elle apparaît en bas de l'écran mais en partie seulement, sous-entend que l'autre moitié se trouve plus bas dans la page, donc que la page n'est pas entièrement affichée à l'écran. Cependant, dans la page en question aucune unité graphique n'était ainsi "coupée".

Contrairement à la première proposition de l'hypothèse H2, 1 groupe sur 14 semble donc n'avoir pas construit le schème d'action instrumentée qui consiste à vérifier la présence des boutons de l'ascenseur pour contrôler que la page consultée est entièrement affichée à l'écran. Cela a eu comme conséquence que ce groupe n'a trouvé un des produits concurrents.

6.3.3. La fonctionnalité de " recherche par mot-clef" n'est jamais utilisée

Par ailleurs, la fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page" n'est jamais utilisée par les étudiants. Cela valide la deuxième proposition de l'hypothèse H2 : les étudiants ne semblent pas avoir construit les schèmes d'action instrumentée de la fonctionnalité "recherche par mot-clef dans une page".

6.4. Difficultés à trouver les informations utiles pour la veille concurrentielle

La première hypothèse que nous avons faite à propos de la recherche des informatitions utiles à réinvestir en conception est : « H3 (II-4.2.2) : Les étudiants ne donnent pas de sens à la recherche documentaire dans une activité de conception. Par conséquent, ils effectuent la recherche sans chercher les archétypes des produits concurrents ». Nous montrons, dans les deux paragraphes suivants, dans quelle mesure cette hypothèse est validée.

6.4.1. Les étudiants donnent du sens à la veille concurrentielle, malgré quelques résistances

Globalement, les étudiants ont interprété la consigne de manière pertinente et prévoient d'utiliser les résultats de leur recherche documentaire pour concevoir leur pompe doseuse.

En effet, les réponses des étudiants à l'entretien semi-directif permettent d'établir que, parmi les 11 groupes, 10 ont compris la consigne, et l'ont opérationnalisée en terme de caractéristiques de pression et de débit à vérifier. En effet, même si certains groupes citent d'autres critères qu'ils ont pu utiliser, ils affirment que le débit et la pression sont les caractéristiques principales qu'ils recherchent.

De plus, de manière quasi-systématique (au total 15 fois sur 17), lorsqu'une annonce de page propose plus d'explications sur une pompe doseuse qui satisfait le cahier des charges, les étudiants consultent cette page. Ils cherchent à en savoir plus que les caractéristiques de pression et débit. D'autre part trois groupes prévoient un mode de réinvestissement des archétypes des produits trouvés : la modification des matériaux pour une adaptation au milieu de fonctionnement, le principe de fonctionnement, l'« architecture ». Les extraits de discours suivants le mettent en évidence.

> - Groupe B2 : « <B2-1> : Il faut trouver "oil and gas"[*i.e.* l'industrie pétrolière] – <B2-2> : C'est pas grave si c'est utilisé pour autre chose, on pourra toujours s'en inspirer – <B2-1> : Elle est mieux protégée pour "oil and gas" – <B2-2> : il n'y a que les matériaux à changer »

- Groupe C1, qui décrit le fonctionnement de la pompe Dosapro Milroyal devant l'écorché affiché à l'écran : « <C1-3> : Système bielle-manivelle. Avec un petit piston, un clapet, un truc tout con quoi. Piston, plateau, et l'inclinaison fait varier le débit »
- Groupe F1 : « <F1-2> : c'est surtout les architectures qu'on veut »

Cependant, des résistances ont été observées.

En premier lieu, le groupe F1 a compris la consigne mais l'a rapidement détournée. En effet, après n'avoir trouvé aucune pompe qui convenait dans la première branche de la base de données, le but de ces étudiants devient celui de faire la liste des principes de fonctionnement du maximum de pompes doseuses, afin de s'inspirer de plusieurs solutions, même si leurs performances ne satisfont pas le cahier des charges. A l'entretien, un étudiant de ce groupe affirme : « si la solution était sur le site, on n'aurait pas besoin de chercher [d'en concevoir une] ». Les étudiants semblent croire que l'on ne puisse concevoir de machine que pour un usage nouveau, avec des performances nouvelles par rapport aux machines existantes. Ils n'ont pas compris le but de la veille concurrentielle, qui est de dégager les archétypes des pompes doseuses existantes les mieux adaptées au milieu de fonctionnement visé.

En deuxième lieu, dans deux autres groupes, nous avons repéré des extraits de discours des étudiants qui montrent, selon nous, qu'ils s'imaginent qu'à chaque fonction de service et performances associées correspond une seule et unique solution existante. Nous retranscrivons ci-dessous des extraits des de leurs discours.

Groupe D2 : « Je pense qu'à la fin, il y en a une [pompe doseuse] qui tombera pile-poil »
Groupe E1 : « On était tombé sur la bonne [pompe doseuse] direct »

6.4.2. Un critère d'évaluation inattendu : le prix

Les groupes D1 et F2 ont éliminé une pompe qui était «trop performante » selon les critères de débit et pression, parce qu'elle serait « trop chère » pour le cahier des charges qui leur est imposé.

Certes, même si le coût de production n'était pas un critère indiqué dans la cahier des charges, le coût est un critère important pris en compte dans la cadre d'un projet de conception en entreprise. Mais à un degré si peu avancé de définition du produit à concevoir, au moment de la veille concurrentielle, il est difficile d'évaluer les coûts, et d'autant plus dans un contexte scolaire : les étudiants ne connaissent pas les moyens de production de l'entreprise, ni les sous-traitants potentiels, ni les fournisseurs.

Dans la formation Codimi, aucun moyen n'est donné aux étudiants pour évaluer le coût de production des pompes doseuses existantes, qu'elles soient d'un archétype ou d'un autre. Le critère de coût n'est pas prévu comme critère de sélection des archétypes.

Nous pensons que le raisonnement des étudiants "trop performante donc trop chère" est un raisonnement de consommateur, ou d'acheteur, qui a conscience que le prix augmente avec la qualité d'un produit. Mais la logique à adopter lors d'une veille

concurrentielle, c'est celle d'un concepteur, qui doit repérer l'adaptation maximale d'une solution technique à un milieu de fonctionnement donné.

Les deux paragraphes précédents (6.4.1 et 6.4.2) montrent que l'hypothèse H3 n'est que partiellement vérifiée. En effet, la grande majorité des groupes a bien compris le sens de la tâche de veille concurrentielle pour un réinvestissement en conception. Mais des observations mettent en évidence certaines résistances à l'accomplissement attendu de la tâche : la représentation que la conception est forcément innovante et l'adoption d'une logique d'"acheteur".

6.4.3. Du butinage à la sélection systématique abusive

Concernant la sélection des unités d'informations pertinentes à lire, nous avons émis l'hypothèse suivante : « H4 (II-4.2.3) : Les étudiants ne gardent pas diponible en mémoire le but opérationnel de la recherche. Par conséquent, ils abandonnent prématurément la recherche commencée dans une branche de la base, et effectuent une recherche par "butinage", sans lien avec la consigne ».

La retranscription de la navigation des étudiants dans la base de données montre que, lorsqu'ils consultaient une page "produit" des constructeurs 3 et 8, certains "oubliaient" de consulter des pages "gamme". En effet, sous le titre "New products" et "products & applications", ces pages "produit" présentent la liste des noms des gammes de pompes doseuses produites par ce constructeur. Chaque nom est aussi une zone hypertexte qui donne accès à la page "gamme" correspondante, qui décrit les performances de chaque gamme de pompe doseuses.

Le tableau 16 montre que, parmi les 9 groupes qui ont consulté au moins l'une de ces deux pages "produits", 6 ont effectué une recherche incomplète et 4 ont effectué une recherche qui semble désordonnée, par rapport à l'ordre d'affichage à l'écran et sans rapport avec le nom des gammes de pompes doseuses. Il semble donc que, devant une liste de produits, rien ne renseigne d'autre que leur nom, la majorité des étudiants "butinent", c'est-à-dire qu'ils font une recherche non exhaustive et sans stratégie apparente. Le tableau montre aussi que 3 groupes ne trouvent pas les pages "gamme", et cela s'explique par une mauvaise anticipation du contenu des pages à partir de leur annonce. Ce problème sera abordé à la section 6.4.4.

Tableau 16 : Visite incomplète des pages "gamme"

	Constructeur 3 (Miltonroy) Page "produit" consultée par 9 gr.	**Constructeur 8 (PCM)** Page "produit" consultée par 3 gr.	(observations de 9 gr sur 11)
Toutes les pages "gamme" sont visitées	Aucun	recherche désordonnée : E1	1 gr sur 9
Certaines pages "gamme" sont vistées mais pas toutes	A1, B2, F1, recherche désordonnée : C1, D2	F2 recherche désordonnée : F1	6 gr sur 9
Aucune page "gamme" consultée	Ne cherche pas ailleurs : A2 Cherchent ailleurs : B1, E1, F2	Aucun	4 gr sur 9

Ainsi, effectivement, comme le prévoit l'hypothèse H4, 6 étudiants sur 11 "butinent" et quittent une branche "constructeur" de manière prématurée, au lieu de suivre une méthode systématique de vérification de toutes les gammes de produits.

A l'opposé des étudiants utilisent une méthode systématique de sélection des pompes doseuses, mais trop hâtive. Ainsi, 3 groupes ont sélectionné au moins une pompe incorrecte (A2, C1, F2). Dans une série de gammes qu'ils ont éliminées une à une grâce au critère de pression, ils ne vérifient plus l'autre critère (le débit). Alors si cette série contient une gamme dont la pression est acceptable, les étudiants ont tendance à la sélectionner sans vérifier le débit. C'est le cas du groupe C1 qui sélectionnent une pompe incorrecte alors que son débit est trop faible, et du groupe F2 qui en sélectionne deux incorrectes, l'une à débit trop faible, l'autre à pression trop faible. Quant au groupe A2, il sélectionne une pompe pneumatique, alors que le cahier des charges précise qu'elle doit être électrique. Il semble que ces trois groupes aient "oublié", de manière temporaire, de vérifier certains critères de performance. Au cours de leur recherche, les étudiants de ces groupes ont généralisé à un ensemble de pompes doseuses les propriétés d'une seule dont ils ont vu les caractéristiques, ce qui leur a permis d'automatiser leur recherche, sans contrôler à chaque fois l'ensemble de leurs caractéristiques. Mais cette généralisation est incorrecte et l'activité de contrôle des deux caractéristiques de pression et de débit était nécessaire.

6.4.4. Une mauvaise anticipation du contenu des pages annoncées

Cherchons maintenant à valider l'hypothèse : « H5 (II-4.2.4) : Les étudiants se font une représentation erronée de l'organisation des informations de la base de données, dans les branches de la base où cette organisation est différente. Par conséquent, ils ne trouvent pas toutes les informations utiles à la recherche des produits concurrents ».

Comme le prévoit cette hypothèse H5, l'"omission" d'une branche constructeur correspond systématiquement à une irrégularité de la structure décrite ci-après : pour accéder aux branches "constructeur", il faut cliquer sur le nom du constructeur dans la page "liste de constructeur", à la racine de l'arborescence (première page vue à l'écran), sauf pour accéder aux branches "constructeur" 3, 4 et 5. Celles ci sont accessibles par une page intermédiaire, celle de la filiale "Miltonroy", à laquelle ces constructeurs appartiennent (voir figure 19).

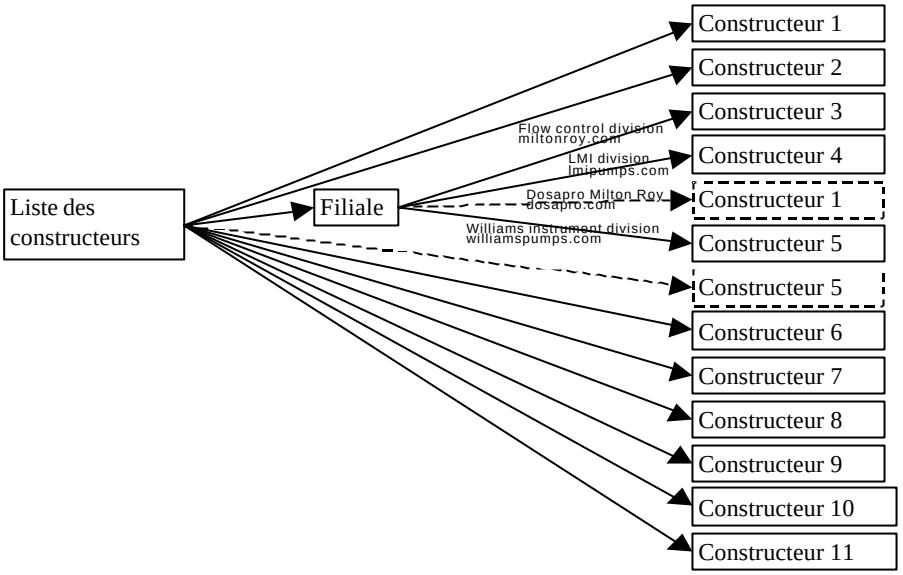


Figure 19 : La structure de la base de données présente une irrégularité de structure au niveau de l'accès aux 11 branches constructeur

La figure 20 met en évidence l'ordre chronologique de consultation des branches constructeur par chaque groupe. Il apparaît que, excepté le groupe E1, tous les groupes effectuent une consultation systématique de chaque branche "constructeur" dans l'ordre d'apparition à l'écran (de haut en bas), sauf pour les constructeurs numérotés 3, 4 et 5. En effet, parmi les branches "constructeur" 3, 4 et 5, tous les groupes ont soit "oublié" un constructeur (10 groupes sur 11), soit suivi un ordre chronologique différent de l'ordre d'apparition à l'écran (4 sur 10, E1 exclus). E1 se démarque des autres groupes, par sa recherche particulièrement désorganisée. Nous verrons au paragraphe 3.5 que cela peut s'expliquer par la difficulté de ses membres à travailler ensemble.

Les annonces des constructeurs 3, 4 et 5 ne donnent aucune indication sur les performances de leur produits. Nous supposons donc que l'omission" d'une de ces branches "constructeur" est due à la difficulté des étudiants à anticiper le contenu des pages dans une base de données où l'organisation des informations n'est pas régulière, ce qui valide l'hypothèse H5.

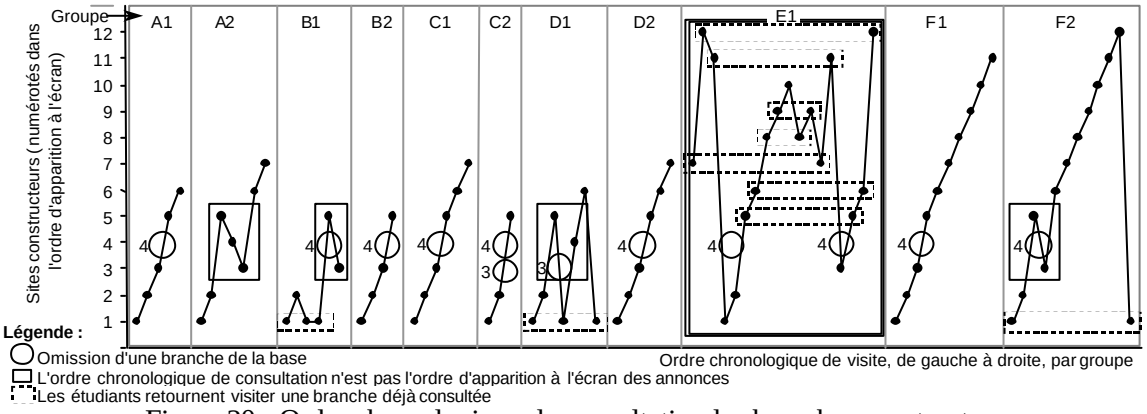


Figure 20 : Ordre chronologique de consultation les branches constructeur

Mais nous avons aussi observé cette difficulté d'anticipation lorsque les étudiants se trouvaient face aux annonces des pages "gamme', et qu'ils ne parvenaient pourtant pas à les trouver. C'est ce que nous exposons ci-dessous.

Pour vérifier si les étudiants "se perdent" dans la base de données, nous avons identifié le nombre de pages visitées par les étudiants, en dehors du modèle rationnel (donné au paragraphe 5.3.2), qui suffit normalement à trouver les caractéristiques de pression et débit. Mettons donc le groupe F1 de côté, qui s'est donné un autre objectif, persuadé qu'il n'existe pas de pompe doseuse qui corresponde aux exigences du cahier des charges. Les observations montrent que, sur un total de 240 pages consultées, l'ensemble des 10 groupes restant ont visité 60 pages hors du modèle rationnel, ce qui représente en moyenne 25% des pages consultées (de 17% à 36% selon les groupes). Parmi elles, la moitié a été consultée pour trouver les caractéristiques de pression et débit de produits, l'autre moitié à la recherche d'autres informations sur un produit dont ils ont déjà trouvé son débit et sa pression. La figure ci-dessous montre que, parmi 10 groupes, 6 groupes ont visité beaucoup de pages hors du modèle rationnel, à la recherche de la pression et du débit des produits : de 13 à 19 % des pages consultées. Parmi eux, 2 groupes (B1, F2) n'ont pas trouvé les pages "gamme" qui contenait les informations qu'ils cherchaient. Pour E1, cela a eu comme conséquence qu'il n'a pas trouvé une pompe qui satisfaisait le cahier des charges.

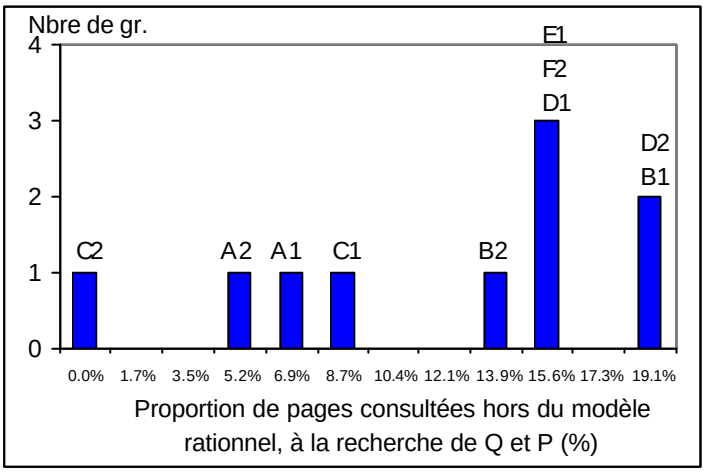


Figure 21 : quantité de pages consultées hors du modèle rationnel, à la recherche des caractéristiques de pression et de débit

Il semble donc que 6 groupes sur 10 aient eu des difficultés à trouver les informations qu'ils cherchaient. Les étudiants ont cherché là où elles ne se trouvaient pas, parce qu'ils ont fait des associations entre les informations qu'ils cherchaient (les caractéristiques de pression et de débit des gammes de pompes doseuses) et l'annonce faite dans la base de données des pages qui ne contenaient pas ces informations. Et ces associations étaient différentes de celles faites par le concepteur de la base de données. Nous avons observé cette difficulté dans des branches de la base particulièrement "touffues", c'est-à-dire où une page permet d'accéder à de nombreuses autres pages.

Enfin, une difficulté que nous n'avions pas prévue, mais que nous avons observée, est la difficulté à comprendre l'anglais.

6.4.5. Une mauvaise traduction de l'anglais conduit les étudiants à éliminer un produit, à tors

Le groupe F1, a rejeté une pompe qui résiste à 1035 bars, parce qu'ils ont mal interprété la notation anglo-saxonne "1,035". Nous avons pu observer par ailleurs que le groupe C1 a aussi rencontrer un problème de traduction de l'anglais. Les étudiants de ce groupe ont mal traduit "GPH", qui est la notation de l'unité anglo-saxonne de débit "galons par heure".

6.5. Difficultés à partager l'utilisation de la base de données et coordonner ses actions avec celles des autres

Nous avons supposé que : « H6 (II-4.3.1) : La tendance spontanée des étudiants à la spécialisation, et , pour certains, à l'individualisme, peut avoir pour conséquence la manipulation inéquitable de l'ordinateur et l'isolement d'un étudiant, qui ne prendrait pas part aux communications ni à la navigation collective ». Qu'en est-il vraiment ?

Deux comportements différents ont été observés, celui du groupe E1 et celui des 10 autres.

D'abord, dans ces 10 groupes, il y a systématiquement un étudiant qui ne prend jamais la souris en main, et un autre qui la manipule plus souvent (en moyenne pour 94% des pages consultées par le groupe) que les autres. Cependant au sein de chacun d'eux, il existe des interactions orales de contrôle mutuel de la participation de tous les étudiants à la recherche : celui qui manipule la souris vérifie que les autres suivent sa recherche, et leur demande leur avis pour choisir les liens à sélectionner. Ceux-ci lui demandent parfois de choisir un lien qui leur semble pertinent, demandent de ralentir le rythme de navigation ou de revenir à une page qu'ils n'ont pas eu le temps de lire.

Le groupe E1 a un comportement collectif particulier. Chacun des trois étudiants a manipulé la souris en quantité équitable (en pourcentage de pages consultées : 35%, 35%, 30%). Par ailleurs, les trois étudiants ne communiquent pas au sujet de la tâche qu'ils réalisent. Ces observations et l'ordre chronologique de consultation des branches constructeur, présentée en figure 22, mettent en évidence que, plutôt que d'effectuer une recherche collective, les étudiants ont en fait effectué successivement quatre recherches différentes :

- une première recherche exploratoire individuelle de l'étudiant 1 (E1-1)
- une deuxième recherche systématique effectuée par les étudiants 1 et 2 (E1-1 et E1-2)
- une troisième recherche de visite de pages déjà consultées et de visite de sites "oubliés", effectuée individuellement par l'étudiant 1 (E1-1).

- une quatrième recherche de visite de pages déjà consultées et de visite de sites "oubliés", effectuée individuellement par l'étudiant 3 (E1-3), à qui l'étudiant 3 donne la souris.

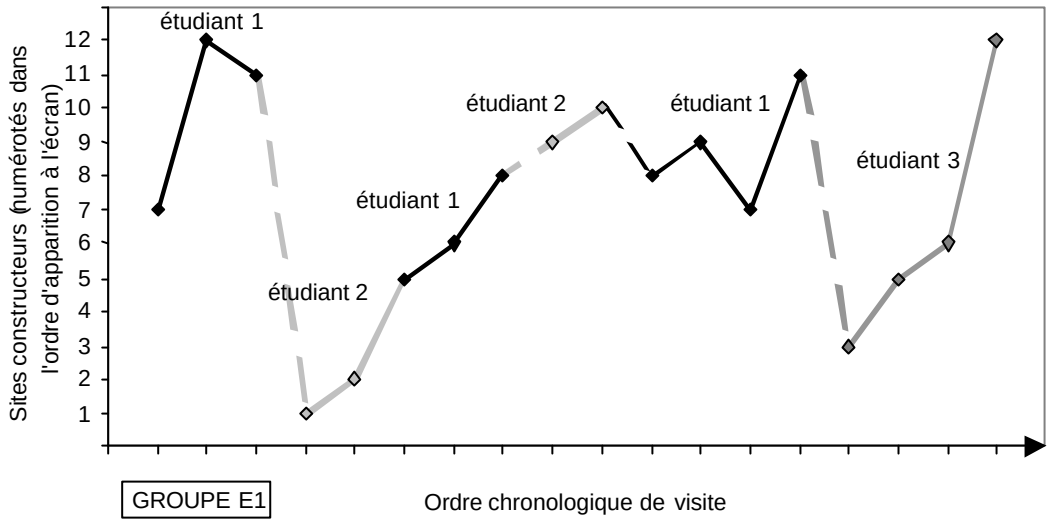


Figure 22 : Ordre chronologique de consultation des branches constructeur par les étudiants du groupe E1

Qu'en conclure ?

Dans le premier cas, qui concerne 10 groupes, il y a un réel investissement simultané de tous les membres du groupe dans la recherche collective des produits concurrents dans la base de données, mais un seul manipule l'ordinateur. Dans le deuxième cas, qui concerne 1 groupe, la recherche est effectuée de manière individuelle par les trois étudiants, chacun leur tour, sans réel travail collectif, mais tous ont manipulé l'ordinateur.

Du point de vue des apprentissages individuels des étudiants, les deux cas précédents sont différents. Dans le premier, un seul étudiant peut progresser dans la construction des schèmes d'utilisation de l'ordinateur et du logiciel de navigation, alors que dans le deuxième, les trois auront eu le même entraînement. A l'opposé, dans le premier, les étudiants auront pu progresser dans leur capacité à se coordonner avec les membres d'un groupe, mais pas dans le deuxième.

L'hypothèse H6 est en partie vérifiée dans un cas, en partie dans l'autre cas.

7. Bilan et discussion

7.1. Bilan des difficultés

La figure ci-dessous présente le bilan des sources de difficultés observées, et qui ont eu des conséquences sur la production ou/et la méthode mise en œuvre par les étudiants pour effectuer la recherche des produits concurrents dans la base de données hypertexte, dans un but de réinvestissement pour la conception de leur pompe doseuse.

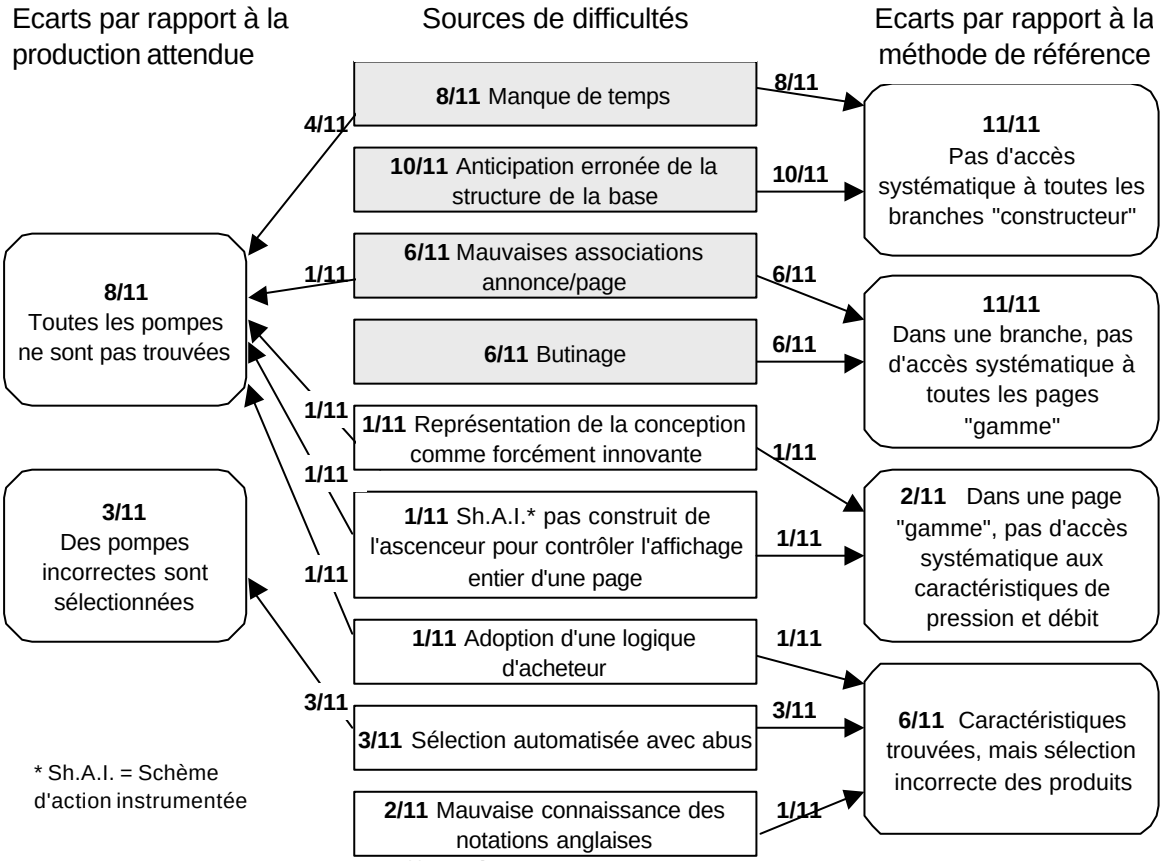


Figure 23 : Bilan des difficultés de la recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte

Cette figure ne présente pas les sources de difficultés suivantes, qui ont aussi été observées, mais qui n'ont pas de conséquence directe sur la production des étudiants ni sur les méthodes qu'ils mettent en oeuvre :

- Les schèmes d'usage du navigateur pour remonter dans l'arborescence de la base ne sont pas construits dans 5 groupes sur 11.
- Les schèmes d'action instrumentée du navigateur qui permettent d'effectuer une recherche par mot-clef dans une page ne sont pas construits dans tous les groupes.

- La représentation de l'existant technique comme un ensemble d'associations d'une fonction de service avec une solution technique, sans prise en compte des milieux de fonctionnement (2gr./11).
- La tendance d'un étudiant à se spécialiser dans la manipulation de la souris (10 gr./ 11).
- La tendance des étudiants à effectuer une recherche individuelle (1gr. /11).

7.2. Étalonnage des mesures

D'un point de vue méthodologique, il est à noter que certains groupes disposaient de plus de temps que d'autres pour effectuer la tâche 1. Au minimum, certains disposaient de 26 minutes, au maximum certains disposaient de 43 minutes. Cela s'explique par le fait que l'expérience ne s'est pas faite en laboratoire mais en situation de formation, avec les contraintes que cela comporte, en particulier en matière d'organisation de la classe par l'enseignant. Cela a-t-il une influence sur nos résultats ?

La figure ci-dessous représente deux graphiques qui nous aident à répondre à cette question.

Le graphique de gauche permet de vérifier que les trois groupes ayant trouvé les 4 pompes correctes se retrouvent aussi les premiers sur une échelle ramenée à la durée de leur recherche (nombre de pompes correctes sélectionnées en moyenne par minute). C'est effectivement le cas : les groupes C1, D2, A2, qui ont touvé 4 pompes correctes, se retrouvent en tête (voir graphique : noms de groupe entourés).

Le graphique de droite montre par contre que ceux qui ont consulté le plus de branches "constructeur" (11 sur 12) et ayant cliqué sur toutes les zones hypertextes de la page "liste des pompes" ne se retrouvent pas les premiers sur une échelle ramenée à la durée de recherche (nombre de branches visitées en moyenne par minute). Les groupes E1, F1 et F2 sont les trois à avoir sélectionné toute la liste de constructeur (voir graphique : noms de groupe entourés). Cependant, le groupe A2 a été plus vite que F1 et F2. S'il avait disposé d'autant de temps qu'eux, il serait peut-être aussi arrivé au bout de la liste. Il aurait donc pu visiter les 12 branches de la base de données. La colonne I du tableau 14 de la section 6.2.1 aurait présenté un écart de méthode en moins, à la ligne A2.

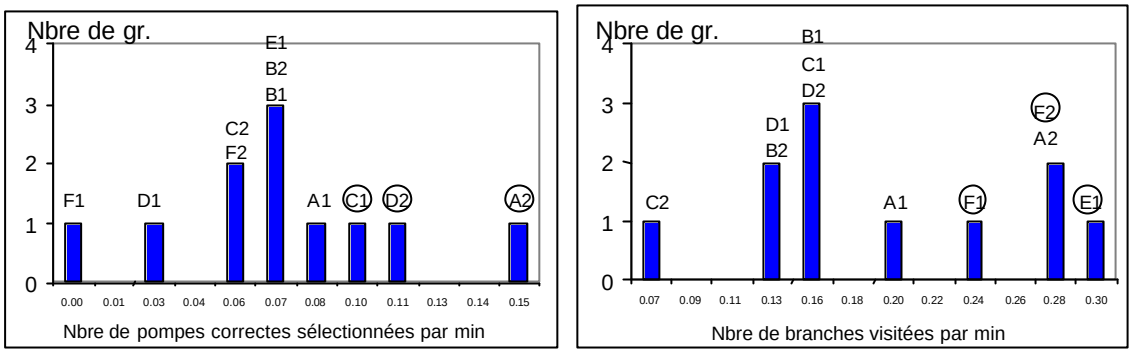


Figure 24 : Rapidité moyenne relative des groupes : à trouver et sélectionner les pompes correctes (gauche) ; à visiter les branches constructeur (droite)

Ces remarques montrent que les résultats donnés sur les productions effectives des groupes et sur les méthodes qu'ils mettent en œuvre restent comparables entre eux, même si certains groupes ont disposé de plus de temps que les autres, excepté en ce qui concerne la méthode du groupe A2.

7.3. Trois méthodes de recherche

En comparant la consultation d'une base de données avec celle d'un livre, on peut distinguer, de manière générale, trois méthodes de recherche d'informations :

- La recherche par mot-clef correspond à l'utilisation d'un index dans un livre, à la différence que l'index d'un livre propose un nombre fini de mots-clefs.
- La recherche sélective par les hypertextes ou les titres de sommaires correspond au choix d'un titre dans un sommaire de livre, à la différence que le sommaire est entièrement donné en début de livre. Dans une base de données hypertexte, du moins celle dont dispose les étudiants, l'équivalent du sommaire est donné par morceau au fur et à mesure de la consultation.
- La recherche exhaustive correspond à la lecture intégrale d'un livre.

Mettons en regard plusieurs faits qui concernent la méthode de recherche mise en œuvre par les étudiants:

- les étudiants n'utilisent pas la fonctionnalité de « recherche par mot-clef » ;
- des étudiants « butinent » sans faire de recherche exhaustive ;
- certains étudiants sélectionnent des pompes sans vérifier tous les critères d'évaluation.

Ces faits semblent aller dans le même sens : les étudiants ont tendance à mettre effectuer une recherche sélective, le premier type de recherche que nous avons cité ci-dessus. Certes, le principe de l'hypertexte est basé sur l'existence de liens entre des annonces et des unités d'informations. Comme un titre de paragraphe annonce son contenu, une annonce hypertexte doit annoncer à l'utilisateur le contenu de la page à laquelle il donne l'accès. Il est donc normal que ce soit la méthode sélective qui soit la

plus employée. Mais les deux autres méthodes sont aussi utiles dans certaines circonstances. La recherche par mot-clef est adaptée à la recherche des caractéristiques de pression et de débit d'une gamme de pompes doseuses. La recherche exhaustive est nécessaire à la vérification systématique de toutes les gammes de produits.

Le fait que les étudiants n'aient pas utilisé la fonctionnalité de recherche par mot-clef du navigateur est étonnant : nous pensions que, grâce à l'utilisation d'Internet, les étudiants auraient intégré l'utilisation d'un moteur de recherche par mot-clef dans leur recherche d'informations. Nous avons interprété ce fait en supposant que les étudiants n'avaient pas construit les schèmes d'action instrumentée intégrant l'utilisation de la recherche par mot-clé lors d'une recherche précise danas une page de la base de données hypertexte. Mais aon peut aussi expliquer cela par ce qu'ils ne connaissent pas cette fonctionnalité du navigateur, il n'auraient donc pas construit le schème d'usage approprié. Ou bien la présence de sites en langue anglaise nécessite-t-il un exercice de détermination des mots-clefs plus difficile que de lire les pages descriptives des gammes de pompes doseuses et de sélectionner les informations sur le débit et la pression de ces gammes. Le choix des mots-clefs pertinents est en effet un problème que nous n'avons pas abordé mais auquel sont confrontés les utilisateurs d'Internet et de bases de données en général.

La mise en œuvre de la méthode sélective, nous l'avons montré, présente la difficulté de l'anticipation du contenu des unités d'informations (pages et paragraphes) à partir des annonces et de l'organisation des informations dans la base de données. Actuellement, l'organisation des sites technico-commerciaux sur Internet n'est pas normalisée, et c'est une source de difficultés pour anticiper le contenu des pages qui les constituent, et donc pour trouver une information cherchée.

Mais si l'on considère que les étudiants doivent apprendre à utiliser ces sites, par exemple dans le cadre d'une veille concurrentielle, il faut que les étudiants soient capables de dépasser cette difficulté, et plus généralement.

7.4. Représentation des activités de conceptions et capacité de proposition

Nous avons constaté que des étudiants se représentaient la conception comme nécessairement celle d'un produit nouveau, sans équivalent existant en terme de performances. D'autres s'attendaient à ne trouver qu'un seul produit satisfaisant, le seul qui corresponde à la fonction de service voulue, avec les performances voulues. Nous expliquons ces faits par une représentation erronée des étudiants concernant l'existant technique et l'activité de conception (qui a produit cet existant technique). Cette représentation assimile l'existant technique à un ensemble d'associations d'une fonction de service avec une solution technique, sans prise en compte des milieux de fonctionnement. L'activité de conception se réduirait à déduire de la fonction à assurer la solution qui lui serait associée.

Et cela a pour conséquence un défaut de capacité de proposition de plusieurs solutions techniques pour une fonction de service donnée, dans un milieu de fonctionnement donné.

Nous pensons que les activités d'analyse de l'adaptation particulière des produits existants à leur milieu de fonctionnement, pour différents produits qui ont la même fonction de service et le même milieu de fonctionnement, permettrait de corriger ces représentations erronées. Elle permettrait en effet de construire et de rendre opératoire le concept de milieu de fonctionnement, proposé par Yves Cartonnet (Cartonnet, 2000), et surtout la notion d'association entre un milieu de fonctionnement et les produits industriels qui lui sont adaptés.

Chapitre III.

Tâche 2 : Difficultés de la conception collective d'une sous-structure de machine

La tâche n°2 à laquelle nous nous intéressons dans ce chapitre est la conception d'une sous-structure de la machine par un groupe de deux à trois étudiants. Lors de la formation Codimi, les étudiants réalisent cette tâche au cours des séances n°4 et n°5, sur une durée totale de 8 heures. Pendant ce temps, les étudiants d'un groupe sont assis autour de la même table et ont en charge de dessiner le plan d'avant-projet d'un certain nombre prédéfini de sous-structures de la machine.

Dans les pratiques professionnelles, la conception d'une machine est appréhendée par "petit bout", par sous-problème dont la résolution constitue une sous-tâche. Chaque sous-problème consiste à concevoir une "sous-structure" de la machine. Pour nous, par définition, une sous-structure est un sous-ensemble de la machine à concevoir, le plus grand possible qui puisse être appréhendé simultanément par un concepteur, ou chacun des membres d'une équipe de concepteurs. La taille d'une sous-structure dépend donc du niveau de détail auquel on se trouve : plus le niveau de détail est élevé, plus une sous-structure sera petite. Par exemple, au niveau de détail qui correspond au plan d'avant-projet, le schéma cinématique étant fixé, les sous-structures sont des liaisons fonctionnelles entre pièces (des guidages en rotation, des guidages en translation, des assemblages) et des pièces.

Dans la formation Codimi, nous adoptons aussi ce découpage en « sous-structures ». A un premier niveau de détail, lors de la veille concurrentielle, six sous-structures ont été identifiées : le moteur, le réducteur, le système de réglage, le système de transformation de mouvement, le doseur et le carter. Ce découpage permet d'identifier l'architecture générique de toutes les pompes doseuses à moteur tournant et aussi de distribuer les tâches de conception entre les deux groupes jumelés. A un deuxième niveau de détail, celui du plan d'avant-projet, la pompe doseuse est découpée en vingt-quatre sous-structures, afin de proposer une définition des tâches qu'il est possible d'effectuer l'une après l'autre.

Ce sous-chapitre 2 a pour objectif de formuler des hypothèses de sources de difficultés des étudiants à réaliser la tâche de "conception collective d'une sous-structure de la machine". Précisons d'abord la tâche prescrite.

Michaël Huchette – 2002

1. Description de la tâche prescrite

La conception collective d'une sous-structure de la machine est une tâche que les étudiants doivent réaliser lors des huit dernières heures de la formation Codimi. Ces huit heures sont regroupées le même jour en deux séances : séance 4 le matin et séance 5 l'après-midi.

1.1. La consigne donnée aux étudiants : dessiner le plan d'avant-projet

La consigne prescrite aux étudiants d'une même unité de travail est de dessiner le plan d'avant-projet d'une pompe doseuse. Elle a été formulée depuis le début de la formation comme l'objectif terminal à atteindre.

Une autre consigne est donnée au début de la séance 4. Elle est présentée ci-dessous.

CONSTRUCTION DES DIFFERENTES ENTITES, PAR GROUPE

1°) Donnez les limites d'encombrement des sous-structures, dont vous êtes responsables, groupe distant avec lequel vous êtes jumelé.

2°) Vous êtes responsables du dessin fini des entité suivantes :

Moteur, sa bride, son axe	formes carter/moteur
Accouplement	formes carter/cellule de dosage
Vis-roue	formes carter/coulisseau
Plateau inclinable	formes carter/sol
Liaison pivot manivelle-plateau	formes carter/pivot de vis
Laison pivot plateau-carter	formes carter/système de réglage
Liaison complète roue-manivelle	formes carter/plateau
Liaison pivot vis-carter	système de réglage
Deux liaisons rotules bielle	blocage du système de réglage
Liaison coulisseau piston	liaison plateau inclinable/système de réglage
Liaison coulisseau-carter	les nervures
	formes du carter/lubrification par barbotage
	formes carter/crochet de manutention

3°) Préparez une revue de projet, qui aura lieu par visio-conférence, à partir de 10 heures, pour 10' au maximum et dont le but est de fixer :

- les contraintes d'un groupe sur l'autre ;
- les décisions déjà acquises sur ces contraintes
- l'heure du prochain rendez-vous de visio-conférence ainsi que le travail qui devra être fini pour ce rendez-vous (vous vous inscrirez au tableau pour votre passage)

Figure 25 : Feuille de consigne 29 donnée aux étudiants au début de la séance 4

La feuille de consigne 29 propose une liste de sous-structures, ainsi qu'une distribution de celles-ci entre les deux groupes jumelés d'une unité de travail. Étant donnée cette organisation du travail, distribuée entre les deux groupes jumelés, un ou plusieurs étudiants de chaque groupe consacreront des moments à la conception des sous-structures dont il a la charge, et des moments à la conception des interfaces entre ces sous-structures et celles que le groupe jumelé doit dessiner. C'est précisément aux moments de conception d'une sous-structure particulière par un groupe de deux à trois étudiants que nous nous intéressons quand nous parlons de la tâche 2, autant que possible indépendamment de la conception des autres sous-structures, du traitement des problèmes d'interface et des problèmes de planification.

Nous étudierons plus spécifiquement la conception de la bielle et du système de blocage du réglage de débit, pour des raisons que nous donnons plus loin, à la section 5 « méthodologie ». Nous appelons "tâche 3" la conception des interfaces. Sa présentation est l'objet du sous-chapitre 3.

1.2. Les performances de la machine à concevoir sont indiquées dans la cahier des charges

Les données de départ de la tâche de conception collective d'une sous-structure sont le cahier des charges (constitué du cahier des charges fonctionnel et d'une lettre de mission), donné au début de la formation Codimi, à la séance 1, et le schéma cinématique de la pompe doseuse à concevoir, établi à la fin de la séance 3.

Le cahier des charges est constitué de la lettre de mission et du cahier des charges fonctionnel. On y trouve les performances de la pompe doseuse à concevoir. Elles sont synthétisées dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Synthèse des performances exigées de la pompe doseuse à concevoir

Caractéristique (critère d'appréciation)	**Valeur (niveau)**
Fluide pompé	Méthanol
Environnement	Plate-forme pétrolière
Pression de refoulement	400 bar
Débit	20 l/h
Norme de sécurité à respecter	Norme de l'industrie pétrolière API 675 (fréquence du piston limitée à 100 coups/min)
Cycle d'utilisation	24h/24h
Durée de vie	20 ans, 25000 h pour les pièces d'usure
Production annuelle	200 à 400 unités

1.3. La définition initiale de la machine : le schéma cinématique dimensionné

La représentation de départ de la pompe doseuse à concevoir est un schéma cinématique. Un exemplaire a été dessiné par les étudiants au cours de la séance précédente. Il est dessiné à l'échelle 1 aux dimensions choisies pour assurer le débit imposé dans le cahier des charges. Une autre version "corrigée" a été distribuée par l'enseignant. Il fait office de solution possible. Le schéma cinématique « corrigé » est présenté en annexe 1, p. 34. Un extrait est donné ci-dessous, en figure 26.

Le moteur électrique, le réducteur, la longueur de la bielle et de la manivelle, et la tête de dosage ont aussi déjà été choisis lors de la séance 3.

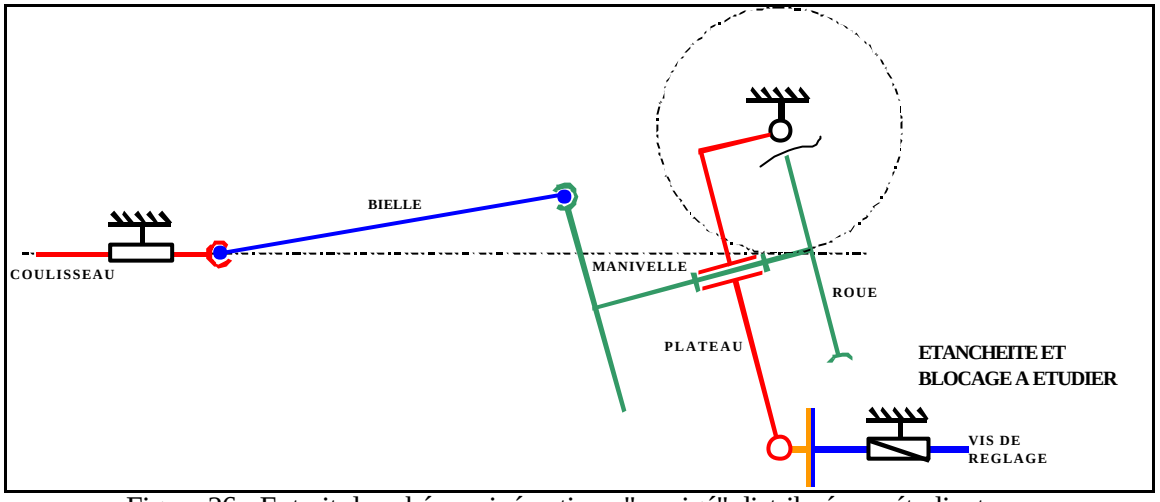


Figure 26 : Extrait du schéma cinématique "corrigé" distribué aux étudiants au début de la séance 4

Les bases de solutions industrielles disponibles sont la base de données hypertexte sur les constructeurs de pompes doseuses (utilisée à la séance 1 pour effectuer la veille concurrentielle), le plan d'une pompe doseuse Dosapro Maxroyal (avec son système de blocage du réglage de débit), deux catalogues de composants (par exemple sur les têtes de bielles et les rotules), des extraits de catalogue de moteurs électriques, de réducteurs roue-vis et d'anneaux de levage.

2. La production attendue

La production attendue des étudiants est le plan d'avant-projet dessiné à l'échelle 1 sur une feuille de calque. C'est un plan d'ensemble de la machine conçue.

Elle est y représentée telle qu'elle serait à un instant de son fonctionnement, en y montrant toutes les pièces qui la constituent. Ce plan d'ensemble doit permettre, à un lecteur qui maîtrise cet outil, de prendre connaissance des formes, des dimensions

approximatives, et des matériaux de chacune des pièces de la machine, de visionner l'agencement de ces pièces lorsqu'elles sont montées et de comprendre le fonctionnement prévu de la machine. Concrètement, s'agissant de la pompe doseuse, il faut que les parties de la pompe à la charge d'un groupe d'étudiants soient toutes dessinées, sur au moins deux vues, et que les matériaux y soient indiqués.

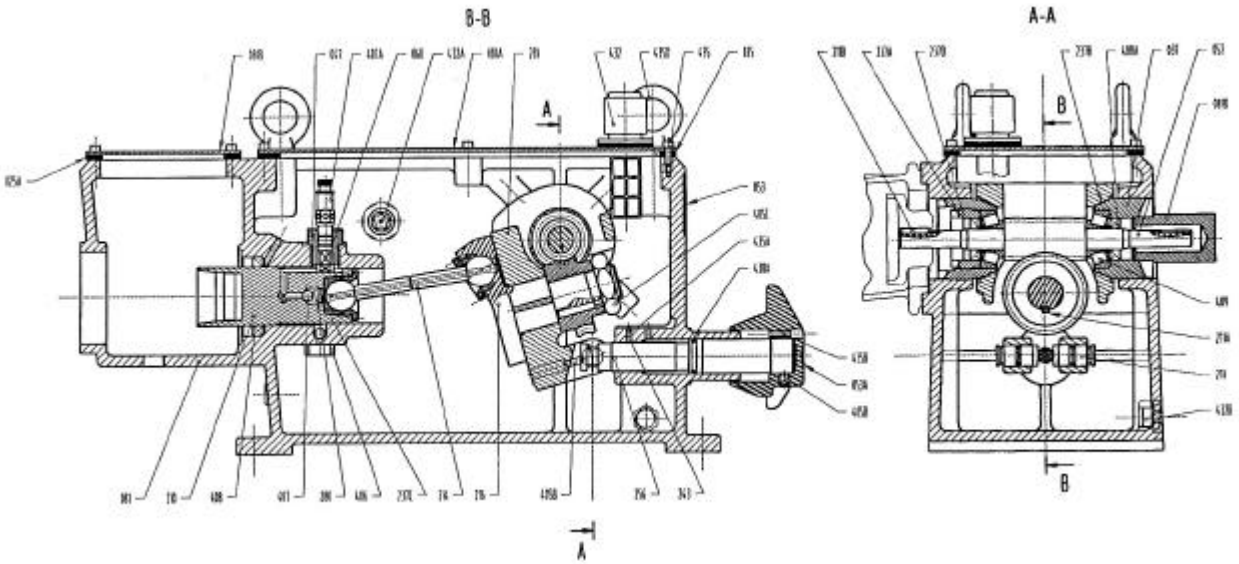


Figure 27 : Extrait d'un exemple de plan d'ensemble industriel d'une pompe doseuse construite sur l'archétype du système bielle-manivelle à plateau incliné

De plus, les solutions techniques dessinées doivent permettre d'atteindre les performances exprimées dans le cahier des charges et éviter les modes de défaillance prépondérants.

En ce qui concerne la bielle et ses deux liaisons rotules :

- la solution proposée doit permettre les mouvements relatifs demandés par le schéma cinématique – deux liaisons rotules de la bielle avec le coulisseau et de la bielle avec la manivelle – en évitant les interférences cinématiques ;
- elle doit éviter les modes de défaillance prépondérants : flambage de la bielle, matage et grippage des rotules, pas montable.

En ce qui concerne le blocage du système de réglage :

- la solution proposée doit assurer la fonction de blocage du système de réglage indiquée dans la consigne et sur le schéma cinématique, en évitant le déréglage en fonctionnement ;
- elle doit éviter les modes de défaillance prépondérants : pas utilisable (manipulable, accessible), pas montable.

3. La méthode de référence

Comment doit-on s'y prendre pour concevoir une sous-structure de la machine ? Quelle méthode les étudiants doivent-ils apprendre à mettre en œuvre ? Et en particulier en ce qui concerne la conception de la bielle de la pompe doseuse et de ses rotules et ka conception du blocage du système de réglage ?

Pour définir la méthode de référence, nous nous basons sur les travaux de Yves Cartonnet qui propose un modèle de l'activité de conception. A partir de descriptions d'activités de conception proposées en formation par Lucien Géminard et par Pahl et Beitz, et d'activités de conception en entreprise, Yves Cartonnet (Cartonnet, 2000, p. 86) propose trois activités principales de conception : la proposition de plusieurs solutions techniques, l'évaluation des solutions techniques proposées, et le choix d'une solution parmi celles proposées.

Ci-dessous, nous développons, selon ce modèle, la méthode de référence pour concevoir une sous-structure, et en particulier de la bielle de la pompe doseuse et de ses rotules et ka conception du blocage du système de réglage :

I. Utiliser les bases de solutions industrielles pour proposer des solutions. Concernant la conception de la bielle et de ses rotules, nous attendons que les étudiants proposent les différentes têtes de bielle du catalogue dont chaque groupe dispose. Quant au blocage du système de réglage, les étudiants devraient proposer le système de la pompe concurrente "Dosapro Maxroyal" dont le plan d'ensemble a été distribué et analysé lors de la séance 1.

II. Évaluer les solutions proposées selon les critères d'atteinte des performances souhaitées et d'évitement des modes de défaillance prépondérants listés à la page précédente (section 2).

III. Choisir la solution qui sera adoptée parmi celles proposées, à l'aide d'une démarche rationnelle qui utilise les critères d'évaluations et les résultats des évaluations.

4. Hypothèses sur les sources de difficultés

Quels raisonnements cette activité nécessite-t-elle ? Quelles sont les capacités à mettre en œuvre ? Quelles sont les difficultés possibles des étudiants ?

Nous reprenons les trois activités principales de conception proposées par Yves Cartonnet (proposition, évaluation, choix) et les capacités associées pour structurer cette section. Nous détaillons pour chacune d'elle les raisonnements qu'elles sous-tendent, les connaissances technologiques qu'elles mettent en jeu et les difficultés potentielles des étudiants et nous formulons des hypothèses de sources de difficultés.

4.1. Les capacités de conception

Yves Cartonnet propose de caractériser les capacités à former chez un élève-concepteur par une «boucle d'actualisation» (Cartonnet, 2000, p. 86). Selon ce schéma d'organisation de la formation à la conception, pour un niveau de détail donné dont le concepteur a la responsabilité – par exemple le niveau du plan d'avant-projet du système de réglage d'une pompe doseuse – une étape de la conception consiste à préciser cette sous-structure de la machine par étapes successives. Chaque étape correspond au passage d'une représentation graphique de la machine à une autre plus précise. La modification d'une représentation de rang n dite «objet actuel» à un moment donné, en une autre de rang n+1 se déroule en quatre étapes :

- anticiper et énoncer les limites de l'objet actuel n
- proposer plusieurs solutions, soit pour préciser la solution actuelle parce qu'elle n'a pas atteint le degré de précision maximal, soit pour la modifier parce qu'elle présente une limite inacceptable
- modéliser pour évaluer les solutions proposées en simulant le fonctionnement de la machine, sa fabrication et son montage.
- choisir une solution parmi celles proposées, sa représentation sera le nouvel « objet actuel »

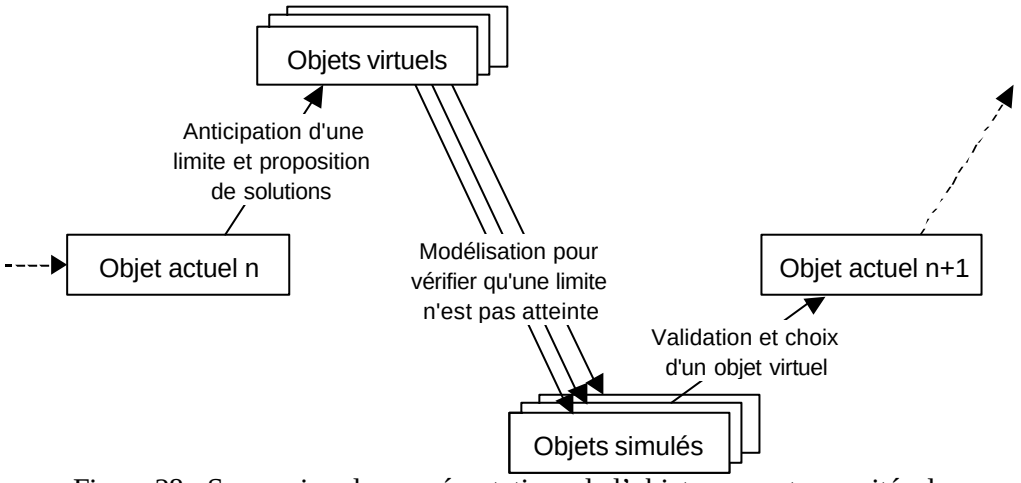


Figure 28 : Succession des représentations de l'objet conçu et capacités de conception, (synthèse effectuée d'après le « schéma d'actualisation » de Yves Cartonnet, 2000)

4.2. Proposer des solutions techniques

La première capacité de conception consiste à proposer plusieurs solutions techniques adaptées à la fonction d'usage et au milieu de fonctionnement.

Il s'agit de rechercher parmi les éléments de machine existants, ceux qui répondent aux conditions émanant du cahier des charges. Ces conditions sont les

spécifications techniques du besoin, formulation technique de la fonction d'usage (par exemple bloquer le système de réglage de débit), de la performance associée (par exemple qui peut être bloqué par un homme à la main, sans outil spécifique) et les modes de défaillance possibles dans le milieu de fonctionnement prévu (par exemple résister à la corrosion de l'eau et de l'air maritime, si la machine est utilisée sur une plate-forme pétrolière). Notons que nous nous intéressons uniquement à la conception par réinvestissement de l'existant, par opposition à la conception innovante. Codimi est une formation à la conception par réinvestissement de l'existant. En d'autres termes, si on reprend le concept de milieu et de produit industriel proposé par Yves Cartonnet dans sa classification des connaissances technologiques (Cartonnet 2000, p. 33-34), il s'agit de proposer un élément de produit industriel qui convient au milieu, ce dernier étant déterminé par le cahier des charges fonctionnel.

4.2.1. Le réinvestissement d'associations milieu-produits

Selon nous, la capacité à proposer suppose d'avoir mémorisé (ou d'avoir construit par une recherche documentaire) des associations milieu de fonctionnement-produits industriels. L'action de proposer consiste à reconnaître les milieux mémorisés analogues à celui défini par le cahier des charges, et de récupérer en mémoire les produits industriels associés. Ce sont ces produits industriels qui seront les solutions proposées et adaptées (voir figure 29).

Le « raisonnement à partir » de cas a été étudié en intelligence artificielle et en psychologie cognitive. Willemien Visser (Visser, 1999, p.135) a identifié les étapes de ce type de raisonnement. Elles sont, dans l'ordre : 1- construction des traits d'analogie; 2- récupération en mémoire des solutions qui correspondent à ces traits; 3- adaptation d'une solution récupérée en mémoire au problème actuel ; 4- évaluation de la solution ; 5- intégration du résultat en mémoire. Pour nous, l'activité de proposition correspond aux trois premières étapes repérées par Visser. D'après les caractéristiques du problème de conception que nous avons définies ci-dessus, les solutions doivent remplir la fonction d'usage avec la performance souhaitée et éviter les modes de défaillances du milieu. Les traits d'analogie pourront donc porter sur ces trois conditions. Considérer que "proposer une solution" consiste à proposer des solutions qui ont la même fonction, c'est adopter le point de vue d'auteurs tels que Lucien Géminard (1970), Roth (1982), Pahl et Beitz (1996). Pour eux, concevoir une machine consiste à décomposer de manière logique la fonction d'usage souhaitée de la machine en sous-fonctions, et de trouver dans un catalogue de toutes les solutions possibles classées selon leur fonction et leur structure, une solution pour chaque sous-fonction identifiée. Par contre, si nous intégrons, dans l'activité de proposition, l'analogie possible selon les modes de défaillance, nous prenons aussi en compte les points de vue de Gilbert Simondon (1958) et de Yves Cartonnet (2000). Pour eux, une machine "bien conçue" est adaptée à son milieu de fonctionnement interne et externe.

Michaël Huchette – 2002

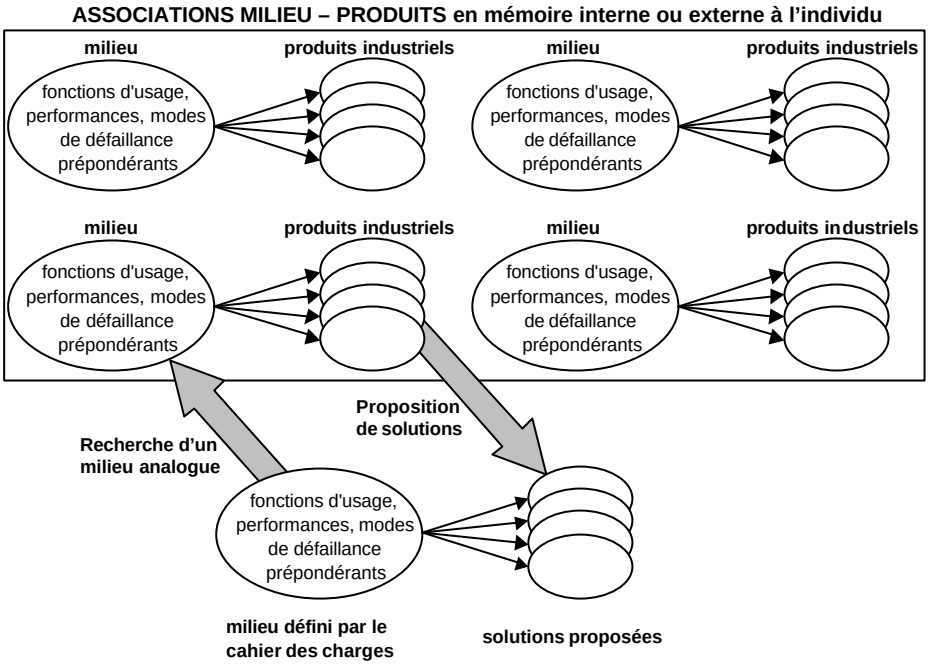


Figure 29 : Raisonnements et connaissances en jeu dans la proposition de solutions

Par conséquent, deux conditions sont nécessaires pour qu'un étudiant soit capable de proposer des solutions. La première est qu'il ait des ressources en associations milieu - produits industriels, soit mémorisées, soit contenues dans une base de données dont il pourrait disposer. La deuxième est qu'il ait identifié des traits d'analogie, c'est-à-dire qu'il ait reconnu la fonction d'usage et la performance à partir des données dont il dispose, et qu'il ait anticipé les modes de défaillance possibles de la machine à concevoir. D'ailleurs, dans sa boucle d'actualisation, Yves Cartonnet fait précéder l'activité de proposition par l'anticipation d'une limite de l'objet actuel. (Cartonnet, 2000, p. 97). Selon ce schéma, une proposition est faite uniquement parce que l'objet actuel présente une limite.

L'identification du milieu imposé par le cahier des charges consiste à reconnaître les fonctions à assurer, la performance et les modes de défaillance prépondérants à éviter.

Prenons l'exemple précis de la bielle et ses rotules, puis du blocage du système de réglage. En premier lieu, reconnaître la fonction cinématique "rotule" suppose de savoir lire et comprendre un schéma cinématique et les représentations normalisées des liaisons cinématiques de base. Ce devrait être le cas puisque les étudiants ont au moins utilisé ces schémas au premier semestre de la licence. Ainsi la fonction "rotule" doit permettre aux étudiants d'inférer toutes les solutions qui réalisent une rotule et à l'utilisation de catalogues qui contiennent des composants "rotules". En deuxième lieu le terme et la fonction "blocage" doivent être compris comme "rendre impossible de manière commandée un mouvement autorisé à d'autres moments". Ainsi, pour ces deux sous-structures, nous supposons que l'identification des fonctions à assurer ne sera pas une source de difficulté.

Ensuite, les étudiants doivent anticiper les modes de défaillance qui risquent d'arriver dans le milieu de fonctionnement prévu. Cette activité fait appel à un domaine d'expertise particulier, liée au milieu de fonctionnement de la machine en question. Ce sont les essais et les retours de pièces défaillantes qui permettent aux professionnels de bureau d'études de connaître les modes de défaillance prépondérants, des pompes doseuses utilisées sur les plates-formes pétrolières par exemple. Ce que l'on peut attendre d'étudiants en formation qui n'ont pas la connaissance des modes de défaillance prépondérants, c'est qu'au moins ils connaissent les défaillances générales possibles, sous la forme de règles de conception, selon la forme des pièces, des matériaux, des types de contact et des sollicitations. Par exemple "les pièces longues sollicitées en compression dans le sens de la longueur risquent de flamber", "deux pièces glissantes l'une sur l'autre risquent de gripper sur leur surface de contact".

Françoise Darses a observé la tendance spontanée de concepteurs professionnels à rester focalisés sur une solution prégnante (Darses, 1997, p. 42), une solution technique qu'ils avaient adoptée dans un projet de conception précédent. Des observations faites par Adeline Léveiller-Routault (2000, p. 17) et Karim Zaïd (2001, p. 28-29) montrent de même qu'une grande proportion (de 50% à 80% selon les niveaux) de binômes d'élèves qui conçoivent ont tendance à rester figés sur une unique solution.

HYPOTHÈSE H1 : Partant des observations de Françoise Darses, nous faisons l'hypothèse que les étudiants auront tendance à ne proposer qu'une solution prégnante, et ne mobiliseront pas leurs connaissances des associations milieu-produits et ne consulteront pas les bases de solutions industrielles disponibles.

4.2.2. Anticiper les collisions et interférences de montage grâce au plan d'ensemble

On peut aussi attendre qu'ils imaginent un scénario où l'on voit la machine de l'intérieur, avec ses pièces en mouvement, et de l'extérieur avec les éléments du milieu extérieur qui agissent sur elle. Ce scénario ferait apparaître des limites possibles de la machine. Pour cela, les étudiants disposent d'un outil de représentation : le plan d'ensemble. Il permet, lorsque l'on a dessiné une solution proposée, de repérer les modes de défaillance correspondant à des collisions entre deux pièces, qui rendraient impossible leur mouvement relatif lors du fonctionnement, et les interférences de montage, qui empêcheraient le montage de la machine. En effet, l'intersection du dessin d'une pièce et de la trajectoire d'un point d'une autre pièce permet de repérer leur interférence (collision ou de montage), sans qu'on l'ait imaginée au préalable.

L'utilisation du plan d'ensemble pour anticiper ces modes de défaillance suppose que les étudiants aient construit les schèmes d'action instrumentée appropriés. Nous verrons à la section 4.2.1 que l'utilisation du plan pour anticiper, mais aussi simuler les collisions et interférences de montage peut être une source de difficulté.

4.3. Évaluer les solutions techniques proposées

En quoi consiste l'évaluation des solutions techniques proposées ? Il s'agit de vérifier qu'elles ont les performances requises et qu'elles évitent les modes de défaillance prépondérants, en simulant un comportement physico-chimique de cette solution technique (une partie de la machine) lors du fonctionnement prévu de la machine.

Pour simuler le comportement d'une partie de la machine, le concepteur dispose de modèles et de connaissances théoriques associées, ainsi que d'outils de représentation et de calcul. Par exemple au moment de l'avant-projet, s'il souhaite vérifier qu'une pièce est montable, il utilisera un plan d'ensemble en traçant la trajectoire des extrémités des pièces lors du montage. Et, plus tard dans le projet, il utilisera une maquette numérique et un prototype. S'il souhaite vérifier que la pièce ne grippera pas dans sa liaison avec une autre pièce, il utilisera un dessin de la pièce, où la surface supposée de contact est marquée, ainsi que le champ des vitesses de glissement et le champ de pression de contact. De manière complémentaire à la capacité à anticiper une limite possible, les étudiants doivent donc mettre en œuvre la capacité à utiliser les modèles de simulation.

Jean-Charles Lebahar note cette « double compétence » des dessinateurs CAO d'un cockpit d'hélicoptère : elle porte « d'une part sur le produit, de l'autre sur les modèles géométriques de simulation [… . Ils] sont capables d'imaginer mentalement plusieurs scénarios concernant le produit référent à simuler, tout en manipulant avec facilité les signifiants opératifs offerts par les ressources géométriques des systèmes CAO » (Lebahar, 1997, p. 94). Pour des concepteurs de machines, les choix et les évaluations ne portent pas uniquement sur les formes, et la simulation fait appel à d'autres connaissances que les outils de simulation de la géométrie. Yves Cartonnet a nommé « objets simulés » la catégorie de connaissances qui servent justement à évaluer si le produit atteint bien les performances et évite bien les modes de défaillances. Ce sont des « modèles théoriques (dynamique, cinématique, élastique, plastique, thermique etc.) […] qui permettent des simulations prédictives des différents comportements physico-chimiques de ce produit » (Cartonnet, 2000, p. 35). Pour pouvoir simuler, il faut donc d'une part connaître les modèles et les techniques de résolution associées, et d'autre part savoir choisir le modèle en fonction du problème technique à traiter, autrement dit, il faut modéliser.

Mais il faut choisir le "bon" modèle en fonction du comportement à simuler. Ce choix de modèle, ou modélisation a fait l'objet de recherche en didactique des sciences. Modéliser en sciences et modéliser en génie mécanique : dans quelle mesure parle-t-on de la même activité ? Nous nous accordons avec Moustafa Gahlouz (1994, p. 10-11) qui écrit :

> Dans le génie civil, « l'utilisation de modèles et outils de modélisation intervient dans l'accomplissement de tâches socialement finalisées […] qui renvoient spécifiquement à la pratique de construction […] Les questions de la modélisation se posent, non pas

autrement que pour le domaine scientifique, mais dans un contexte technologique qui lui est différent et qui ne saurait se réduire aux seuls aspects scientifico-techniques stricts ».

Il en est de même dans tous les génies techniques, et en particulier le génie mécanique. Dans les recherches en didactique qui se sont intéressées à l'apprentissage de la modélisation scientifique, plus que le choix d'un modèle parmi plusieurs existants, il s'agit pour les élèves de construire un modèle et les concepts qui le sous-tendent et de se les approprier, dans l'objectif de comprendre un phénomène observé (Aster n°7, Martinand et al., 1992). Par contre le choix et l'utilisation d'un type de modèle parmi plusieurs connus, par des élèves qui doivent prévoir un phénomène, n'ont pas été étudiés à notre connaissance. Dans les recherches citées précédemment, ce sont donc plutôt les difficultés d'apprentissage de ces concepts et de leurs relations au référent empirique qui ont été évaluées. Or, lors d'un travail pratique de conception d'une machine, l'activité de modélisation consiste d'abord à choisir un type de modèle, celui qui est adapté au phénomène physico-chimique que l'ont souhaite prévoir et maîtriser, puis à construire et représenter graphiquement le modèle particulier, adapté au cas particulier traité. Les concepts qui sous-tendent ce type de modèle ne sont pas remis en cause mais sont sensés être connus.

Par exemple si on souhaite prévoir le phénomène de fatigue des roulements qui assurent le guidage en rotation d'un arbre dans un alésage, parmi tous les types de modèles connus (modèle statique, cinématique, de résistance des matériaux, …) le type de modèle "statique" permet de prévoir les efforts transmis dans les roulements. C'est pour construire le modèle statique du guidage particulier, seul l'arbre est considéré, de manière "isolée" du reste de la machine, et les relations entre l'arbre et le reste de la machine sont modélisées par des torseurs d'efforts, y compris les torseurs d'efforts transmis par les roulements. Plus précisément, par exemple, un roulement rigide à une rangée de billes monté glissant dans l'alésage sera modélisé par un glisseur dont la résultante a une composante nulle suivant l'axe de l'arbre. Pour estimer la valeur des efforts appliqués à l'arbre, un certain nombre d'hypothèses sera fait, notamment celles qui consistent à négliger certaines actions mécaniques par rapport à d'autres.

En bilan, simuler le comportement d'une solution technique consiste à :

1. Choisir le type de modèle approprié au comportement à simuler (et la théorie qui le sous-tend) et les outils de simulations
2. Construire le modèle particulier à la solution technique à simuler, en posant des hypothèses qui permettent de le construire et qui permettront de simuler sur ce modèle
3. Simuler sur le modèle. Selon le type de modèle, il s'agit de lancer un programme informatique, de faire un calcul analytique, ou de tracer une représentation graphique
4. Exploiter les résultats de la simulation, en vérifiant le domaine de validité de ceux-ci, étant données les hypothèses qui ont été faites pour modéliser le réel futur.

Dans la formation Codimi, d'une part les étudiants peuvent utiliser le plan d'ensemble comme outil de simulation des collisions et des interférences de montage, d'autre part, ils ont la possibilité d'exploiter des résultats de calculs effectués avec le logiciel Mathcad à la séance précédente (séance 3). Ces calculs avaient pour but de choisir le diamètre de la bielle et de ses rotules, afin que la bielle ne rompe pas en flambant et que les rotules ne se plastifient pas sur leur surface de contact.

4.1.1. Simuler les collisions et les interférences de montage grâce au plan d'avant-projet

Le plan d'ensemble permet de simuler les volumes géométriques des pièces constituantes d'une machine, et aussi, par le tracé des surfaces enveloppes des trajectoires, de simuler les collisions potentielles et les interférences de montage. Mais cela requiert la construction par son utilisateur de schèmes d'usages particuliers. Pierre Rabardel (Rabardel, 1982, Rabardel et Vérillon, 1987) et Yves Cartonnet (1992) ont mis en évidence la difficulté d'étudiants et de professionnels de bureau d'études à identifier les volumes et de comprendre le fonctionnement d'une machine représentée sur un plan d'ensemble. En effet, le décodage d'un plan d'ensemble pose problème pour les individus dont la démarche spontanée de lecture de plan est la « projection mnémonique ». Nous citons Yves Cartonnet ci-dessous. Il explique en quoi consiste cette démarche spontanée de « projection mnémonique » qu'il a observée.

> « deux démarches de résolution différentes se dégagent de nos expérimentations : -a) La démarche de "projection mnémonique" : le sujet plaque des résultats de mémoire plutôt qu'il ne décode des formes et les relations spatiales de la représentation proposée. Le rappel en mémoire d'un mécanisme complet est réactivé par un déclencheur, à savoir un élément technique, reconnu par sa forme, ayant une fonction donnée. A partir de là, le sujet croit avoir reconnu le mécanisme et décrit le fonctionnement de mémoire. -b) La démarche hypothético-déductive : le sujet énonce des hypothèses à partir de ses connaissances technologiques et de ce qu'il croit reconnaître comme mécanisme, puis il décode les formes et les relations spatiales perceptibles sur la représentation afin de tester la validité de ses hypothèses sur le fonctionnement. En cas de conflit entre elles et sa perception, il cherche à reformuler de nouvelles hypothèses.
> Des deux démarches, c'est la projection mnémonique qui peut être pénalisante. Elle l'est dans le cas où le sujet ne tient pas compte de conflits qui naissent entre ses connaissances réactivées et les informations extraites de la représentation » (Cartonnet, 1992, p. 160).

HYPOTHÈSE H2 : Nous partons du constat que des difficultés ont été observées par Pierre Rabardel et Yves Cartonnet pour décoder un plan d'ensemble afin de se représenter la géométrie et le fonctionnement d'une machine dessinée. Nous faisons donc l'hypothèse que le décodage du plan d'ensemble est une source de difficulté pour anticiper (comme nous l'avons précisé en 4.1.2) et pour simuler les collisions et les interférences de montage. Les étudiants pourraient par conséquent dessiner des pièces qui entreraient en collision lors du fonctionnement de la machine ou qui ne seraient pas montables, soit parce qu'ils n'anticiperaient pas que ces modes de défaillance puissent

se produire, soient parce qu'ils les ont envisagés mais l'usage du plan d'ensemble ne leur a pas permis de simuler correctement les mouvements des pièces.

4.1.2. Exploiter les résultats de calculs

Des calculs effectués à la séance 3 avec le logiciel Mathcad avaient pour but de choisir le diamètre de la bielle et de ses rotules, afin que la bielle ne rompe pas en flambant et que les rotules ne se plastifient pas sur leur surface de contact.

Alors, les étudiants avaient du faire des hypothèses sur les caractéristiques des matériaux, sur les sollicitations et sur la géométrie de la bielle et de la surface de contact dans les rotules : la bielle était un tube cylindrique circulaire creux, la surface de contact était une demi-sphère. Lors de la conception plus détaillée des sous-structures, d'autres choix doivent être faits sur les solutions techniques qui assurent la fonction de bielle et de rotule. Il faut alors vérifier la validité des résultats de calcul, étant données les hypothèses qui avaient été faites.

Par exemple si la bielle est effectivement un tube cylindrique circulaire creux, comme dans l'hypothèse, mais qu'elle est en plus filetée, pour pouvoir y fixer des composants « rotules » du commerce à ses extrémités, des concentrations de contraintes diminueront sa résistance. Le résultat du calcul de dimensionnement de la bielle ne sera alors plus valide parce que l'hypothèse portant sur la géométrie de la bielle sera loin de la réalité.

HYPOTHÈSE H3 : Une source de difficulté dans l'exploitation des résultats de calcul est la tendance à confondre modèle et réalité simulée et de considérer les résultats de calcul réalisés grâce au modèle comme vrais sans condition. En conséquence, nous nous attendons à ce que les étudiants ne remettent pas en cause les résultats de calcul, même si leurs choix de solutions invalident les hypothèses qu'ils avaient faites pour effectuer ce calcul.

4.4. Difficultés à effectuer un choix collectif à partir des propositions et des évaluations de chacun

Jusqu'ici nous avons considéré que les activités de proposition et d'évaluation étaient des activités individuelles, d'un ou de plusieurs des étudiants du groupe. Certes, par ses capacités individuelles, chaque étudiant peut proposer des solutions qui pourront être adoptées par le groupe, et peut évaluer des solutions proposées, par lui ou un autre étudiant du groupe. Mais ces propositions et évaluations individuelles peuvent être provoquées par l'intervention d'un autre étudiant, par ce qu'il a dit, par ce qu'il a dessiné, par l'énoncé d'un mode de défaillance qui fait penser à une autre solution, par l'énoncé d'une solution qui fait penser à un mode de défaillance, etc. Une dynamique de propositions et évaluations s'établirait donc, au cours de laquelle les étudiants

expliciteraient leurs propositions et évaluations. Elle doit se conclure par un choix collectif d'une unique solution, celle "du groupe". Le but de cette partie 4.3 est de préciser en quoi consiste ces explicitations et ce choix collectif, et de dégager les difficultés possibles des étudiants.

4.4.1. Communiquer la description de solutions techniques

Premièrement les étudiants doivent expliciter leurs propositions et leurs évaluations. Pour eux, le but est d'atteindre une « synchronisation cognitive » (Darses, 1997, p. 51-53), c'est-à-dire de formuler une explication pertinente qui permette aux autres membres du groupe d'avoir à l'esprit les objets matériels qu'il décrit et les objets symboliques qu'il « manipule » mentalement et de suivre son raisonnement. C'est la condition nécessaire pour qu'une réelle dynamique collective puisse exister, c'est-à-dire pour que tous les membres du groupe puissent :

- avoir les mêmes connaissances de l'avancement du problème traité (dans le cas de la conception d'une sous-structure, il s'agit de connaître les contraintes qui sont imposées par les décisions déjà prises sur l'architecture de la machine et sur les autres sous-structures)
- évaluer une proposition faite par un étudiant.
- aboutir à un accord raisonné sur le résultat d'une évaluation.

Pierre Falzon (1989), a montré que, dans des conditions de travail, le langage utilisé dans les interactions entre hommes varie selon les situations à traiter et les connaissances des locuteurs et interlocuteurs. Selon l'auteur, l'efficacité de la communication est moins bonne si l'évaluation des connaissances de l'interlocuteur est inadéquate.

HYPOTHÈSE H4 : Une source de difficultés serait alors l'hétérogénéité des groupes en ce qui concerne le vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques pour décrire des idées de solutions, argumenter et justifier des résultats d'évaluations. Cette difficulté pourrait donc, selon nous, se traduire par des explications fastidieuses pour les élèves qui n'ont pas eu de formation technologique préalable, et par des incompréhensions de la part de ceux-ci lors d'explications techniques faites par les étudiants qui ont eu une formation technologique préalable.

4.4.2. Trouver un équilibre socio-cognitif

Une deuxième difficulté possible réside dans la possibilité de « décalages socio-cognitifs » entre les étudiants, au sens de Béatrice Cahour : « décalages dans les rôles attendus et effectifs, décalages dans les objectifs visés et opérationnalisés, décalages dans la connaissance de l'état du projet, décalages dans les intérêts et les priorités » (Cahour, 2001, p. 71). L'auteur explique par ces «décalages » les difficultés rencontrées

par des opérateurs lors de réunions dont le but est la conception d'un nouvel atelier de production de carrosserie chez Matra-Automobiles. Il s'agit de difficultés relatives aux rôles sociaux, aux identités et aux motivations qui se traduit par un abandon des opérateurs dans la participation active à ces réunions de conception. Dans le contexte scolaire, on peut imaginer l'abandon d'un étudiant à participer à la conception collective d'une sous-structure pour les raisons suivantes, inspirées des décalages observés par Béatrice Cahour :

- décalage entre la responsabilité prétendument accordée par le groupe à un étudiant, et la confiance finalement accordée à celui-ci
- décalage entre l'objectif de production de certains étudiants ("pour avoir une bonne note") et l'objectif d'apprentissage des autres. Les travaux de Philippe Meirieu (2000a) tendent à montrer que c'est l'objectif de production qui prime, de manière spontanée dans les groupes d'élèves de l'école primaire au collège. On peut cependant supposer que certains étudiants de licence de technologie mécanique aient des objectifs d'acquisition d'une culture et de compétences techniques plus étendues que la seule production locale à réaliser.
- décalage de connaissance des décisions prises lors de la conception des autres sous-structures, alors qu'elles ont une influence sur la conception de la sous-structure en cours de traitement. En effet, dans le cas où un étudiant n'aurait pas participé à la conception de telle ou telle sous-structure qui jouxte par exemple celle qui est en cours de traitement, il est nécessaire qu'il soit mis au courant de ces décisions afin qu'il puisse participer à la conception.

Aux raisons précédentes, on peut ajouter la tendance spontanée de certains étudiants, dits « indépendants », à se mettre en retrait du groupe, observée par Robert Pléty (1996). Nous rappelons ci-dessous les quatre profils d'étudiants que l'auteur à dégager de ses observations de groupes de quatre élèves en train de résoudre un problème de mathématique, au collège.

> Les quatre profils particuliers d'élèves sont les suivants (Pléty, 1996, p. 106-108):
>
> 1- L'animateur a tendance à contrôler et planifier l'action du groupe, et est écouté par les autres. Ses interventions touchent essentiellement l'organisation des actions, plus que le contenu des actions.
> 2- Le vérificateur a tendance à vérifier et corriger les interventions émises par d'autres membres du groupe, sur leur contenu.
> 3- Le quêteur cherche le plus de renseignements possibles pour préciser ce qu'il faut faire et pour que les autres le rassurent
> 4- L'indépendant a tendance à ne pas s'exprimer et participe peu à la résolution du problème

HYPOTHÈSE H5 : Nous faisons l'hypothèse qu'une source de difficulté possible des étudiants soit un décalage socio-cognitif entre individus et/ou la tendance de certains à se mettre en retrait. Cela peut conduire à l'isolement, voire l'abandon d'un membre du groupe.

4.4.3. Décider grâce aux évaluations

Deuxièmement les étudiants doivent choisir de manière raisonnée une solution, qui se dégage comme la plus appropriée. En plus de la valeur d'une solution selon certains critères (établie lors de l'évaluation), les étudiants doivent hiérarchiser les critères, qui permettent de comparer de manière objective des solutions concurrentes. Certains critères seront discriminants, alors que d'autres ne seront pas importants par rapport à ces derniers. C'est selon ce cette méthode que les étudiants ont comparé trois archétypes de pompes doseuses et en ont choisi un.

Une première source de difficulté est la décontextualisation du problème posé aux étudiants par rapport au même problème qui serait posé dans un contexte industriel. Deux aspects présents en entreprise sont essentiels pour "pondérer" une solution technique et n'existent pas à l'école (du moins dans la formation Codimi). D'une part le critère de coût est très important et assez facile à évaluer. D'autre part le « point de vue » des différents spécialistes qui ont à intervenir sur le produit est discriminant et peut amener à éliminer purement et simplement une solution. Par exemple une contrainte de fabrication peut amener le service des méthodes à éliminer une solution "pas fabricable avec les moyens de production de l'atelier".

La deuxième source de difficulté possible des étudiants est celle du poids affectif et social accordé par un étudiant à la solution qu'il propose ou au critère d'évaluation qu'il utilise, à l'opposé d'une pondération objective des critères et solutions. Selon nous un tel comportement pourrait être observé dans le cas d'un type d'interactions dans le groupe proche de la « stratégie d'émulation » par Robert Pléty (1996). Nous rappelons ci-dessous les trois types d'interactions que l'auteur a dégagés de ses observations de groupes de quatre élèves en train de résoudre un problème de mathématique, au collège.

> Les types d'interactions identifiés par Robert Pléty sont (Pléty, 1996, p. 87-101):
>
> A- La stratégie d'émulation : les élèves collaborent et chacun apporte suivant ses moyens, avec une certaine rivalité. Une stratégie se construit au fur et à mesure de la résolution du problème.
>
> B- La stratégie de collaboration : les élèves collaborent et la place est laissée à chacun de s'exprimer et de participer à la résolution du problème, dans une ambiance plus coopérative que compétitive.
>
> C- Vers l'échec, la confusion : la compréhension du but du problème est floue et incertaine, aucune stratégie de résolution n'est construite. Tous les élèves de ce type de groupe ont des déficits de capacités individuelles avant la résolution collective du problème.

HYPOTHÈSE H6 : Nous supposons que la décontextualisation de la formation par rapport aux bureaux d'études industriels et la stratégie d'émulation des étudiants sont des sources de difficultés des étudiants pour effectuer un choix rationnel de solution technique prenant en compte les évaluations des solutions techniques proposées.

4.5. Bilan des hypothèses

Nous rappelons ci-dessous les hypothèses de sources de difficultés que nous avons émises, concernant la tâche n°2 de conception collective d'une sous-structure de la machine. Entre parenthèses, nous rappelons la référence du paragraphe dans lequel nous avons construit et énoncé les hypothèses.

- H1 (III-4.1.1) : les étudiants auront tendance à ne proposer qu'une solution technique, qu'ils ont en mémoire, et ne mobiliseront pas leurs connaissances des associations milieu-produits et ne consulteront pas les bases de solutions industrielles disponibles.
- H2 (III-4.2.1) : le décodage du plan d'ensemble est une source de difficulté pour anticiper et pour simuler les collisions et les interférences de montage. Les étudiants pourraient par conséquent dessiner des pièces qui entreraient en collision lors du fonctionnement de la machine ou qui ne seraient pas montables.
- H3 (III-4.2.2) : une source de difficulté dans l'exploitation des résultats de calcul est la tendance à confondre modèle et réalité simulée et de considérer les résultats de calcul réalisés grâce au modèle comme vrais sans condition. En conséquence, nous nous attendons à ce que les étudiants ne remettent pas en cause les résultats de calcul, même si leurs choix de solutions invalident les hypothèses qu'ils avaient faites pour effectuer ce calcul.
- H4 (III-4.3.2) : Une source de difficulté à communiquer entre les étudiants est l'hétérogénéité des groupes en ce qui concerne le vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques pour décrire des idées de solutions, argumenter et justifier des résultats d'évaluations. Cette difficulté pourrait donc, selon nous, se traduire par des explications fastidieuses pour les élèves qui n'ont pas eu de formation technologique préalable, et par des incompréhensions de la part de ceux-ci lors d'explications techniques faites par les étudiants qui ont eu une formation technologique préalable.
- H5 (III-4.3.3) : une source de difficulté des étudiants est un décalage socio-cognitif entre individus et/ou la tendance de certains à se mettre en retrait. Cela peut conduire à l'isolement, voire l'abandon d'un membre du groupe.
- H6 (III-4.3.4) : la décontextualisation de la formation par rapport aux bureaux d'études industriels et la stratégie d'émulation des étudiants sont des sources de difficultés des étudiants pour effectuer un choix rationnel de solution technique prenant en compte les évaluations des solutions techniques proposées.

5. Méthodologie

Dans cette section 5, nous décrivons et nous justifions le dispositif d'observation que nous avons mis en place afin de valider ou non les hypothèses précédentes, concernant les difficultés des étudiants à effectuer la conception collective d'une sous-structure.

5.1. Population observée

Les productions ont été mesurées pour les 84 groupes qui ont suivi la formation au cours des trois années 1999, 2000 et 2001. La mesure des méthodes et la validation des hypothèses ont été effectuées sur une sous-population de 12 groupes, qui ont suivi la formation en 2000.

Pour les mêmes raisons que pour la tâche 1, nous avons constitué des groupes avec le plus de configurations différentes possibles concernant les origines scolaires. De plus, afin que les étudiants se sentent investis dans un projet collectif, nous avons conservé la même constitution des groupes tout au long de la formation Codimi, autant que l'organisation globale de la formation le permettait (en particulier concernant la gestion des absences d'étudiants).

Tableau 18 : Constitution des groupes filmés à leur poste de travail pendant les séances 4 et 5

Groupe	Étudiants	Nombre d'étudiants
A1	A1-1 ; A1-2	1 (pendant 4h) puis 2 (pendant 4h)
A2	A2-1 ; A2-2	2
B1	B1-1 ; B1-2 ; B1-3	3
B2	B2-1 ; B2-2 ; B2-3	3
C1	C1-1 ; C1-2 ; C1-3	3
C2	C2-2 ; C2-3	2
D1	D1-1 ; D1-2 ; D1-3	3
D2	D2-1 ; D2-2	2
E1	E1-1 ; E1-2 ; E1-3	3
E2	E2-1 ; E2-2	2
F1	F1-1 ; F1-2 ; F1-3	3
F2	F2-1 ; F2-2 ; F2-3	3
		4 groupes de 2 ét. 7 groupes de 3 ét. 1 groupe de 1 puis 2
Les références d'étudiants soulignées indiquent que ces étudiants n'ont pas eu de formation technologique antérieure à l'année en cours. Les autres en ont eue. Les premiers ont un DEUG: MIAS, SCM, SPI, TI. Les deuxièmes ont un BTS CPI, redoublent la licence de technologie mécanique ou sortent de CPGE : TSI, PSI, PT.		

5.2. Description du dispositif d'observation

5.2.1. Mesure de la production des étudiants

La production effective des étudiants, c'est-à-dire leur dessin d'avant-projet, a pu être identifiée par la récolte des calques rendus par les étudiants à la fin de la séance n°5.

Nous avons choisi de nous centrer sur les deux sous-structures "la bielle et ses rotules" et "le blocage du système de réglage". Le choix de ces deux sous-structures a été fait en tenant compte de :

- La possibilité d'utiliser des ressources les plus diverses possibles pour concevoir ces sous-structures. En plus de la base de données hypertexte, les étudiants disposaient en effet d'un catalogue de composants (tels que des rotules, des têtes de bielle, des manettes de réglage et des vis de pression). Ils disposaient aussi des résultats d'un calcul de dimensionnement des rotules de la bielle effectué lors d'une séance précédente. Ils ont donc à leur disposition les moyens d'e mettre en œuvre la méthode que nous avons prise comme référence.
- L'absence de relation de dépendance entre ces sous-ensembles de la machine et ceux pris en charge par le groupe jumelé. La prise en compte de telles relations de dépendance n'est pas l'objet de cette partie, elles seront traitées dans la partie relative à la tâche n°3, c'est-à-dire la conception des interfaces.

La définition de la production effective des étudiants consiste à vérifier que ces deux sous-structures sont dessinées sur la feuille de claque, assurent les performances exigées par le cahier des charges et évitent les modes de défaillances prépondérants. Nous rappelons ci-dessous les critères d'évaluation des deux sous-structures, déjà listées à la section 2 de ce chapitre.

En ce qui concerne la bielle et ses deux liaisons rotules :

- la solution doit permettre les mouvements relatifs demandés par le schéma cinématique – deux liaisons rotules, de la bielle avec le coulisseau et de la bielle avec la manivelle – en évitant les interférences cinématiques
- elle doit éviter les modes de défaillance : flambage de la bielle, matage et grippage des rotules, pas montable.

En ce qui concerne le blocage du système de réglage :

- la solution doit assurer la fonction de blocage du système de réglage indiquée dans la consigne et sur le schéma cinématique, en évitant le déréglage en fonctionnement
- elle doit éviter les modes de défaillance : pas utilisable (manipulable, accessible), pas montable.

5.2.2. Mesure des méthodes mises en œuvre et validation des hypothèses

La méthode de référence, que nous avons donnée à la section 3 de ce chapitre III, la méthode de référence établie au chapitre 1, section 2.2, consiste à: 1- proposer plusieurs solutions en utilisant les bases de solutions industrielles, 2- évaluer les solutions proposées en prenant comme critères les performances visées et modes de défaillance prépondérants à éviter, 3- faire le choix d'une solution parmi celles proposées, en tenant compte des évaluations.

Nous voulons mettre en évidence les méthodes mises en œuvre par les étudiants, pour les comparer à la méthode de référence précédente. Il s'agit donc d'établir :

- les solutions proposées par les étudiants

- les bases de solutions utilisées
- les critères d'évaluation utilisés
- la solution finalement choisie
- l'exploitation des résultats d'évaluations pour faire ce choix
- les sollicitations de l'enseignant de la part des étudiants et les interventions de l'enseignant

Par ailleurs, le tableau ci-dessous rappelle nos hypothèses et donne les descripteurs qui permettent de valider les hypothèses de sources de difficultés de la section 4.

Tableau 19 : Liste des descripteurs permettant de valider les hypothèses

Réf. hypothèse	**Enoncé de l'hypothèse**	**Descripteurs**
H1 (III-4.1.1)	tendance à ne proposer qu'une solution prégnante. Donc pas de mobilisation des connaissances des associations milieu-produits et pas de consultation des bases de solutions industrielles disponibles	Bases de solutions industrielles utilisées – solutions techniques proposées – arguments avancés
H2 (III-4.2.1)	Le décodage du plan d'ensemble est une source de difficulté pour anticiper et pour simuler les collisions et les interférences de montage. Donc solutions dessinées avec collisions et interférences de montage pas évitées.	Critères d'évaluation énoncés – moyens utilisés pour évaluer les interférences (collisions et de montage) : plan, dessins, discours
H3 (III-4.2.2)	Une source de difficulté dans l'exploitation des résultats de calcul est la tendance à confondre modèle et réalité simulée et de considérer les résultats de calcul réalisés grâce au modèle comme vrais sans condition. Donc les résultats de calcul pas remis en cause, même des choix de solutions invalident les hypothèses faites pour effectuer ce calcul.	Bielle et rotules dessinées – remise en cause des résultats de calcul
H4 (III-4.3.2)	Une source de difficulté à communiquer est l'hétérogénéité des groupes en ce qui concerne le vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques. Donc explications fastidieuses et incompréhensions.	Incompréhensions entre les étudiants
H5 (III-4.3.3)	Décalage socio-cognitif entre étudiants et/ou la tendance de certains à se mettre en retrait. Cela peut conduire à l'isolement, voire l'abandon d'un membre du groupe.	Communications entre les étudiants – tâches effectuées par chaque étudiant : matériel utilisé et sous-structures prises en charge
H6 (III-4.3.4)	La décontextualisation de la formation par rapport aux bureaux d'études industriels et la stratégie d'émulation des étudiants sont des sources de difficultés pour effectuer un choix rationnel de solution technique prenant en compte les évaluations des solutions techniques proposées.	Arguments avancés pour choisir – interventions de l'enseignant

En bilan, afin d'identifier les méthodes mises en œuvre par les étudiants, et de valider les hypothèses de sources de difficultés, nous devons établir :

- le discours des étudiants : solutions proposées, arguments, critères d'évaluation énoncés, solution finalement choisie, exploitation des résultats de calcul

- les représentations graphiques produites par les étudiants, au brouillon ou sur la feuille de calque et leur utilisation en parallèle du discours
- les sollicitations de l'enseignant de la part des étudiants et les interventions de l'enseignant
- les utilisations de l'ordinateur, de la base de données hypertexte, de la messagerie électronique, du logiciel de calcul Mathcad, des catalogues papier, du plan de la pompe Dosapro Maxroyal analysée lors des séances précédentes.

Afin d'observer ces indicateurs, nous avons filmé les étudiants à leur poste de travail, avec un angle de vue qui permet de voir les documents qu'ils manipulent ou lisent, ce qu'ils écrivent et dessinent, l'écran d'ordinateur, le clavier et la souris (voir figure 30). Le microphone, posé sur la table devant les étudiants, a permis d'enregistrer le discours des étudiants sur la cassette vidéo.

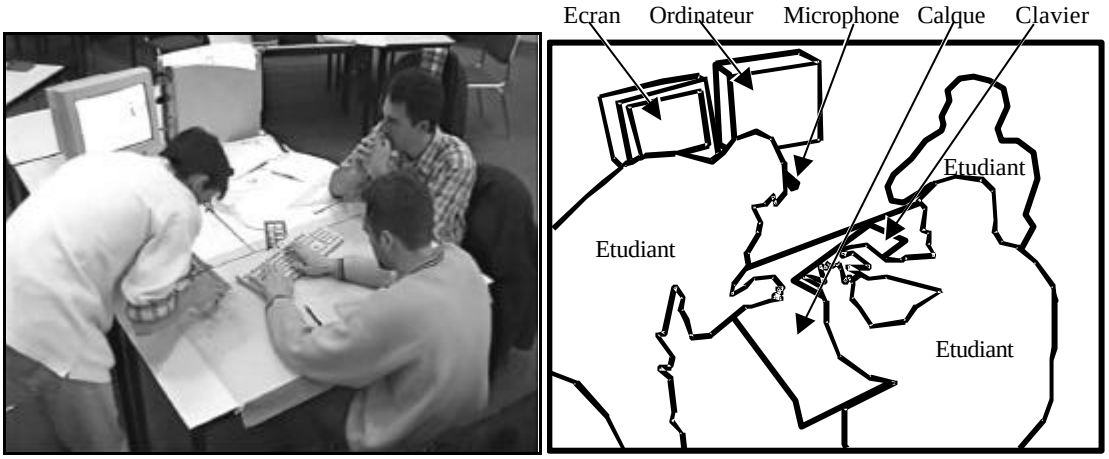


Figure 30 : Copie du champ de la caméra filmant un groupe en cours conception d'une sous-structure

Nous précisons ci-dessous le traitement des films que nous avons fait.

5.3. Traitement des films

5.3.1. Actigrammes

Dans le but d'exploiter les films, nous les avons retranscrits sous la forme d'actigrammes.

Un actigramme (Durey et Cartonnet, 1996, Cartonnet, 1999) est une représentation graphique où figure le temps en abscisse, qui s'écoule de gauche à droite, et des actions observées en ordonnées. Trois couleurs sont utilisées pour indiquer l'action des deux ou trois étudiants du groupe. Un trait dessiné à l'ordonnée A_i, de

l'abscisse t_i à l'abscisse t_j, en couleur bleue, signifie que l'étudiant 1 effectue l'action A_i de l'instant t_i à l'instant t_j.

Les "actions A_i" identifiées sont :

- les sous-structures de la pompe doseuse en cours de conception, parmi celles qui sont listées dans la consigne 29.
- les outils de communication utilisés (messagerie électronique ou visioconférence)
- les échanges entre étudiants parmi les catégories suivantes : travail seul au brouillon ou sur calque, collaboration, demande d'aide, apport d'aide, demande d'informations, apport d'informations

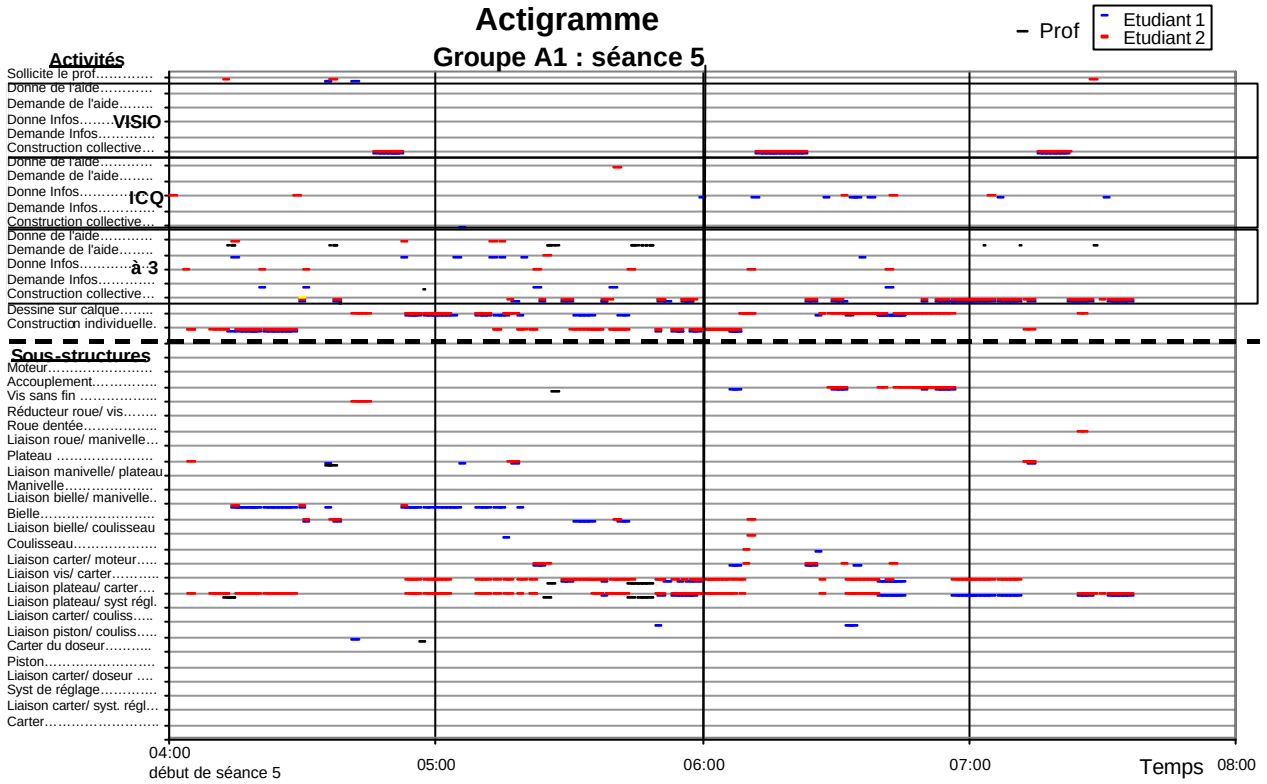


Figure 31 : Exemple d'actigramme : celui qui décrit les tâches réalisées par les deux étudiants du groupe A1 au cours de la séance 5 (de 4h à 8h à partir du début de la séance 4)

Grâce aux actigrammes, nous avons pu construire trois autres représentations graphiques.

5.3.2. Représentations de la prise en charge des sous-structures

La première, a pour but de mettre en évidence la nature de la participation de chaque étudiant dans la conception de chaque sous-structure.

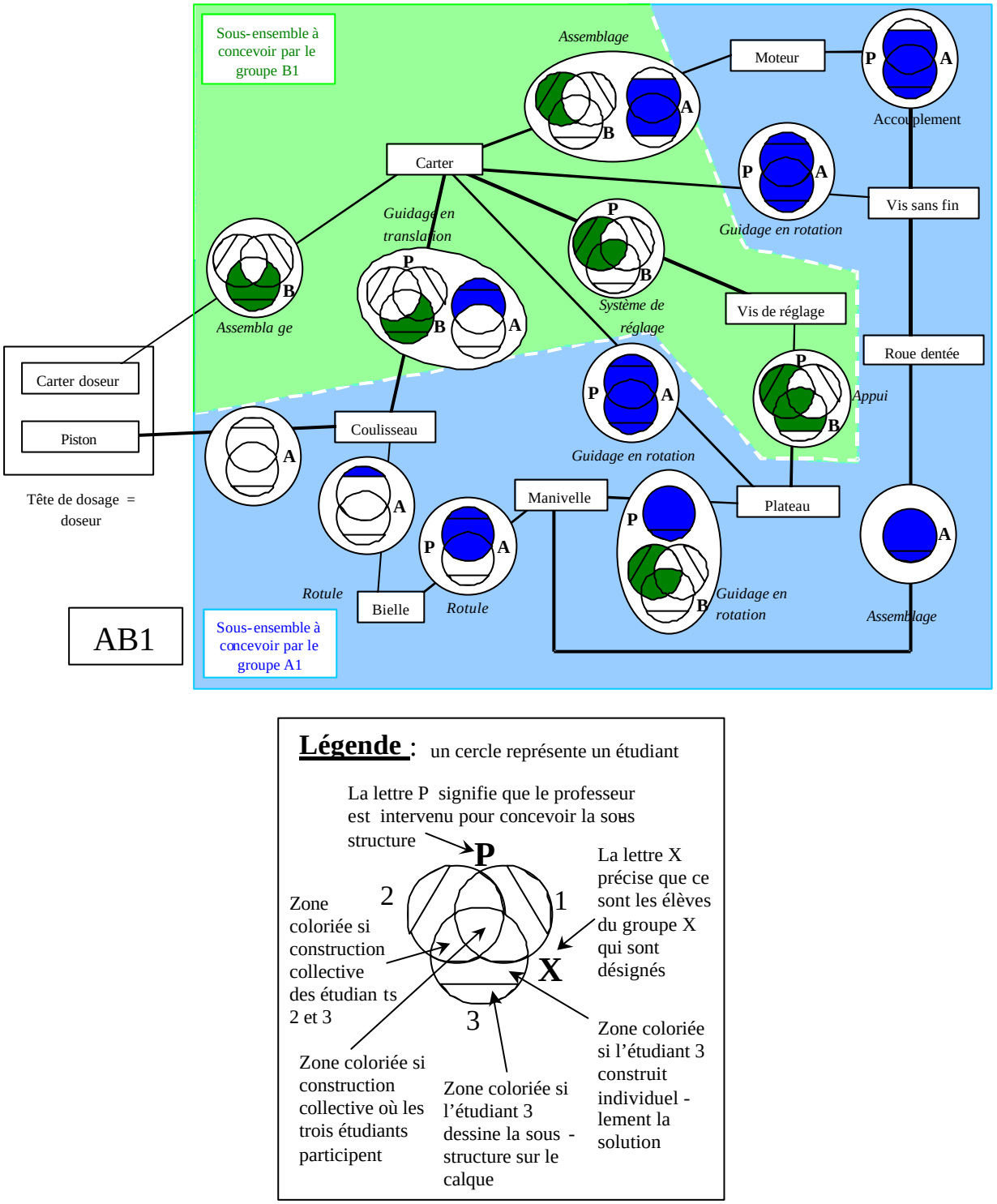


Figure 32 : Exemple de représentation de la prise en charge des sous-structures de la pompe doseuse

5.3.3. Représentation du réseau de communication

La deuxième représente la fréquence des échanges entre les étudiants d'un même groupe et la nature de ces échanges.

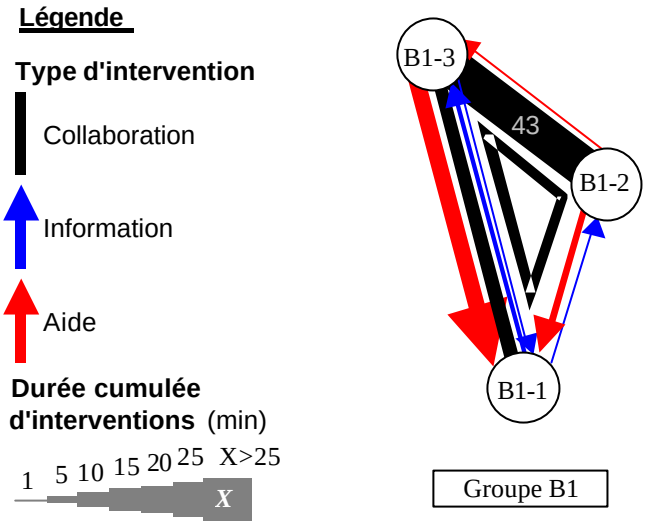


Figure 33 : Exemple de représentation du réseau de communication

5.3.4. Diagramme d'actualisation

La troisième, que nos appelons "diagramme d'actualisation" en référence au « schéma d'actualisation » proposé par Yves Cartonnet (Caronnet, 2000), permet de mettre en évidence les activités principales de conception et les capacités de conception mises en œuvre par chaque étudiant d'un même groupe et les interventions de l'enseignant lors de la conception de la bielle et ses rotules, et du blocage du système de réglage. Elle permet aussi de représenter la dynamique de propositions et évaluations que nous évoquions à la section 4.3. La démarche de construction de cette représentation a été de :

1. Identifier, sur les actigrammes, les moments de traitement de ces deux sous-structures
2. Visionner une nouvelle fois les films précisément à ces moments et retranscrire le discours des étudiants
3. Construire la représentation graphique en distinguant, dans le discours, ce qui est de l'ordre de la solution technique proposée, de ce qui est évaluation de solution et de ce qui est choix collectif de solution. Parmi les solutions techniques proposées, nous avons aussi identifié celles qui étaient dérivées de solutions proposées précédemment (modifiées). Au cours des évaluations, nous avons identifié les critères d'évaluation, c'est-à-dire les limites potentielles d'une solution proposée, et le sens de l'argumentation (positif si elle pousse à garder la solution, négatif si elle pousse à la rejeter).

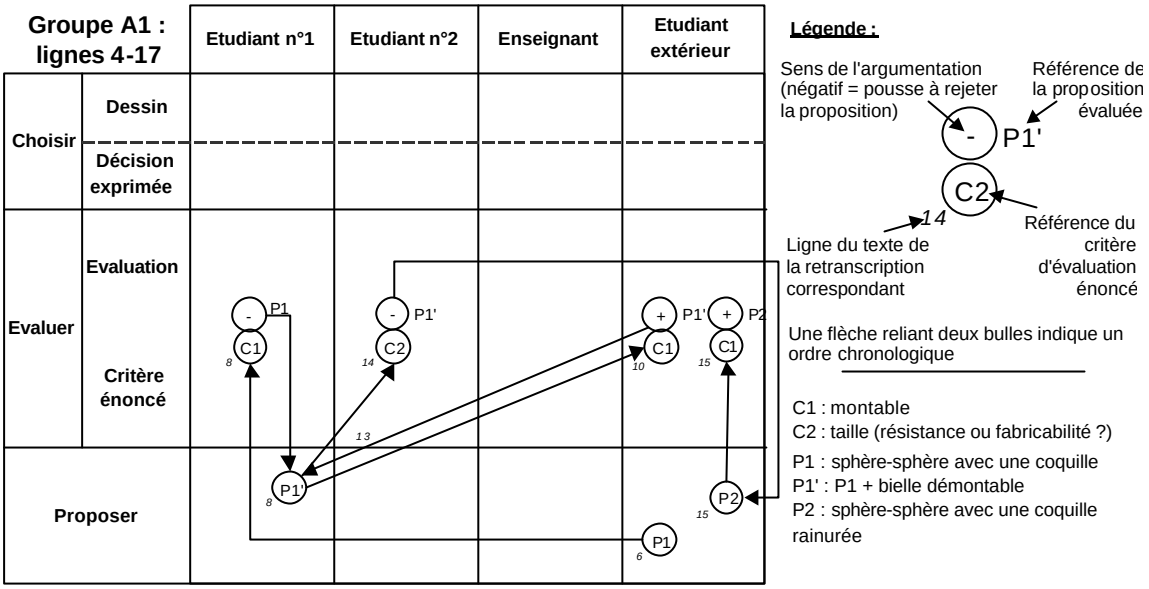


Figure 34 : Diagramme d'actualisation (partiel) du groupe A1 lors de la conception de la bielle et de ses rotules

6. Résultats : difficultés et sources de difficultés observées

Dans ce paragraphe "Résultats", nous donnons d'abord la production effective des étudiants et la méthode mise en œuvre par chaque groupe observé, en comparaison à la production attendue (donnée en section 2) et à la méthode de référence (section 3), puis les résultats empiriques qui permettent de valider ou non les hypothèses de sources de difficultés formulées.

6.1. Productions effectives des étudiants

La figure 35 donne les productions effectives des 84 groupes ayant suivi la formation Codimi en 1999, 2000 et 2001.

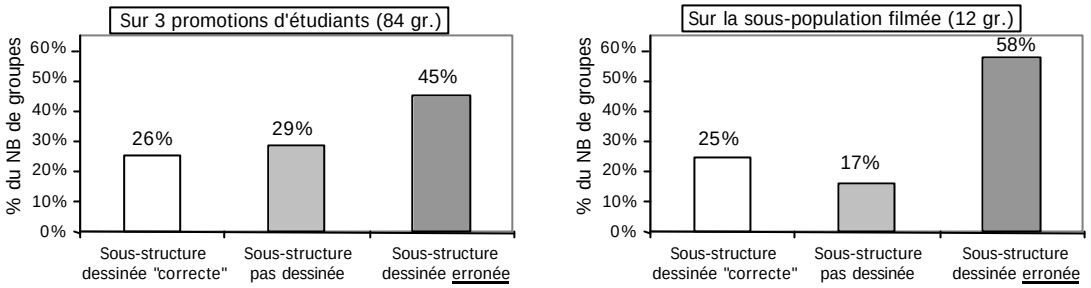


Figure 35 : Résultats obtenus par les 84 groupes ayant suivi la formation Codimi en 1999, 2000 et 2001 (à gauche) et par la sous-population filmée (à droite)

Notons que, sur les 84 groupes ayant suivi la formation Codimi en 1999, 2000 et 2001, 45 % ont dessiné une solution erronée. La figure suivante indique la nature des erreurs observées sur les dessins.

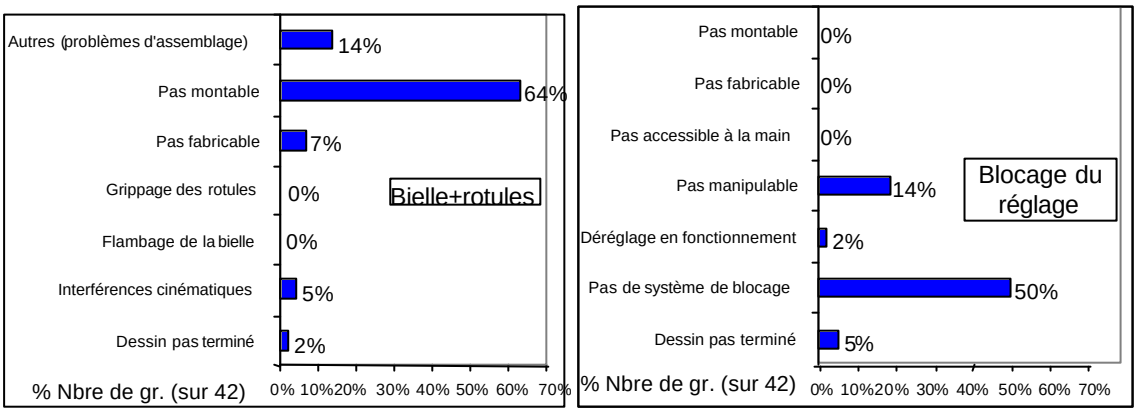


Figure 36 : Nature des erreurs concernant la conception de la bielle et de ses rotules (à gauche) et du blocage du système de réglage (à droite), pour le 3 promotions d'étudiants (1999, 2000, 2001)

Concernant la conception de la bielle et de ses rotules, on constate que 64 % des groupes ont dessiné des solutions techniques qui ne sont pas montables. Au sujet de la conception du blocage du système de réglage, on peut noter que 50% des groupes ont terminé leur dessin du système de réglage, sans avoir prévu de blocage possible.

6.2. Méthodes mises en œuvre par les étudiants

La méthode de référence (MR) établie à la section 3 de ce chapitre III, consiste à : 1- proposer plusieurs solutions en utilisant les bases de solutions industrielles, 2- évaluer les solutions proposées en prenant comme critères les performances visées et modes de défaillance prépondérants à éviter, 3- faire le choix d'une solution parmi celles proposées, en tenant compte des évaluations.

Le tableau ci-dessous présente les écarts entre la méthode effectivement mise en œuvre par les étudiants et la MR, concernant la conception de la bielle et ses rotules

d'une part, et du blocage du système de réglage d'autre part, pour les 12 groupes de la promotion 2000 qui ont été filmés.

Tableau 20 : Ecarts de méthode observés, concernant la conception de la bielle et du blocage du système de réglage (sur les 12 groupes filmés, D1 est exclus car il n'a pas traité le blocage du système de réglage)

Écarts de méthode	**Groupes**	**Nombre de gr.**
1-Aucune ou une seule solution est proposée	aucun	0 sur 11
1bis-Les ressources sur les solutions techniques existantes ne sont pas utilisées	A1, D2, E1, F2 Utilisée sur l'initiative de l'enseignant : B1, F1	6 sur 11
2-Les modes de défaillance prépondérants ne sont pas tous énoncés	Tous	11 sur 11
3-La solution finalement retenue n'est pas l'objet d'un consensus du groupe	Proposée par l'enseignant : A1, B1, E2, E1 Validée par l'enseignant : B2, C2, F2	6 sur 11

Pour compléter la ligne 3 du tableau, notons que les diagrammes d'actualisation permettent d'établir que les sous-structures auxquelles nous nous s'intéressons n'ont pas été les objets d'une conception individuelle. En effet, sur les 12 groupes filmés, le groupe D1 n'a pas conçu le blocage du système de réglage. Dans le groupe D2, 2 étudiants sur 3 participent à sa conception. Mais dans les autres groupes, tous les étudiants participent à la conception à la sous-structure en question. En plus, excepté pour le groupe F2, l'enseignant intervient à ce sujet.

6.3. Difficultés à proposer des solutions techniques

Intéressons nous d'abord aux observations qui permettent de valider l'hypothèse suivante : « H1 (III-4.1.1) : les étudiants auront tendance à ne proposer qu'une solution prégnante, et ne mobiliseront pas leurs connaissances des associations milieu-produits et ne consulteront pas les bases de solutions industrielles disponibles ».

Notons d'abord que tous les groupes ont proposé plusieurs solutions. Et, dans chaque groupe, plusieurs étudiants ont fait des propositions. Les diagrammes d'actualisation, regroupés en annexe 3, pp. 109-121, montrent qu'un étudiant peut proposer une solution qui détaille ou modifie une solution qui avait été proposée par un autre étudiant. Le collectif aurait donc comme effet d'activer la capacité de proposition des étudiants.

Cependant, nos observations montrent que des étudiants proposent des solutions peu adaptées au milieu de fonctionnement visé. Nous expliquerons ce fait. C'est ce que nous développons ci-dessous.

6.3.1. Une démarche déductive de conception conduit deux groupes à proposer des solutions abstraites sans rapport avec aucune solution industrielle

Les diagrammes d'actualisation mettent en évidence que, sur 11 groupes, 2 (A1 et E1) ont une démarche déductive de proposition et de construction de la solution à partir de la fonction à assurer, sans citer une seule solution industrielle existante. En effet, pour concevoir les liaisons rotules de la bielle, ceux-ci partent de surfaces théoriques de contact entre deux pièces (sphère-sphère ou cône-sphère) et intègrent peu à peu les contraintes en modifiant la solution initiale, telles que la possibilité de montage, l'amplitude du mouvement, etc.

A notre avis, ces observations peuvent être expliquées par une représentation qu'auraient les étudiants de l'activité de conception, comme une création déduite de la fonction, et par une mauvaise connaissance d'associations milieu de fonctionnement-produits industriels. La conception d'une machine seraient pour eux similaire à une résolution d'un problème mathématique où l'on déduirait la solution technique des fonctions voulues de la machine.

6.3.2. Une mauvaise connaissance des modes de défaillance

Pour 4 groupes sur 11 (A1, A2, E2, F2), une solution dessinée présente un défaut, une défaillance, et cette défaillance n'avait pas été anticipée dans le discours des étudiants. Ces défaillances sont précisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 21 : Les défauts dessinés qui n'ont pas été envisagés dans le discours des étudiants

Gr.	Défaut
A1	Interférence cinématique
A2	Montage impossible
E2	Interférence cinématique et montage impossible
F2	Pas utilisable à la main (besoin d'un tournevis)

Par ailleurs, en moyenne par groupe, les groupes se chargeant de la bielle n'évoquent que 53% des critères d'évaluation à considérer (voir la liste des critères en section 2) et les groupes se chargeant du blocage du système de réglage 24%.

Notons en particulier que le critère de fabricabilité n'est énoncé que par deux groupes sur 11, justement les seuls deux groupes qui ont dessiné des solutions qui ne sont pas fabricables. Plus précisément ils n'ont pas indiqué comment la partie "tige" de la bielle et ses deux parties sphériques étaient assemblées. Cela semble étonnant : peut-être les autres groupes prennent-ils en compte ce critère de manière implicite.

Ensuite, le critère de montabilité n'est énoncé par aucun des 5 groupes traitant la conception du blocage du système de réglage.

Ces observations montrent que les étudiants ont énoncé peu de modes de défaillances que la solution à concevoir doit éviter, et cela a conduit les étudiants de 4 groupes sur 11 à dessiner une solution défaillante. Il semble qu'ils connaissent mal les modes de défaillance à prendre en compte.

6.3.3. 2 groupes sur 3 n'utilisent pas les bases de solutions industrielles

La base de données hypertexte des sites technico-commerciaux des constructeurs de pompes doseuses, le plan de la pompe concurrente "Maxroyal" et les catalogues de composants sont des bases de solutions industrielles qui permettent aux étudiants de faire des propositions pour concevoir leur pompe doseuse.

Seulement 4 groupes (A1, D2, E1, F2) utilisent, de leur propre chef, les ressources disponibles de solutions techniques existantes, telles que les catalogues de composants et les produits concurrents. Les 7 autres n'ont donc apparemment pas construit les schèmes d'action instrumentée qui intègrent la consultation de bases de solutions industrielles dans l'action de proposition de solutions.

Concluons quant à la validation ou non de l'hypothèse H1. Plus de la moitié des groupes ne mobilisent pas de connaissance des associations milieu-produits et n'utilisent pas les bases de solutions industrielles. Ces observations étaient prévues par l'hypothèse H1. Mais des facteurs autres que le prégnance d'une solution peuvent expliquer ce fait :

- une représentation de la conception comme une création déduite de la fonction
- une mauvaise connaissance des associations milieu-produits
- une mauvaise connaissance des modes de défaillances possibles
- l'absence de schème d'action instrumentée intégrant l'utilisation de bases des bases de solutions industrielles dans l'activité de proposition de solutions techniques.

6.4. Difficultés à évaluer des solutions techniques proposées

A propos de l'évaluation des solutions techniques proposées, nous avons formulé deux hypothèses H2 et H3 sur les sources de difficultés. Dans la section 6.4.1, nous montrons dans quelle mesure l'hypothèse H2 est validée.

6.4.1. Des collisions et des interférences de montage, simulées sur le plan d'ensemble, sont pourtant dessinées

L'hypothèse H2 prévoyait : « H2 (III-4.2.1) : le décodage du plan d'ensemble est une source de difficulté pour anticiper et pour simuler les collisions et les interférences

de montage. Les étudiants pourraient par conséquent dessiner des pièces qui entreraient en collision lors du fonctionnement de la machine ou qui ne seraient pas montables ».

En ce qui concerne la conception de la bielle et de ses rotules, où se posent les problèmes de montage et les problèmes de collisions en fonctionnement, 4 groupes (sur 6 qui devaient concevoir cette sous-structure) ont dessiné des solutions qui présentent des interférences cinématiques ou/et des problèmes de montage. Parmi ces 4 groupes (A1, A2, C2, E2) :

- 3 groupes (A1, A2, E2) n'ont pas évoqué la possibilité d'une de ces limites, alors que l'examen de leur plan d'ensemble permet de la mettre en évidence. Ces trois groupes n'ont donc pas construit les schèmes d'action instrumentée qui intègrent l'examen des trajectoires de montage et de fonctionnement sur le plan d'ensemble dans l'action d'anticiper les limites des solutions proposées.
- Le groupe C2 a parlé de la procédure de montage des pièces et ont utilisé le plan d'ensemble comme support à leur discours. Leur dessin présente pourtant des problèmes de montage. Il semble donc que les étudiants de ce groupe n'aient pas construit des schèmes d'usage du plan d'ensemble pour simuler les trajectoires de montage.

6.4.2. Les résultats de calcul parfois mal exploités

Rappelons qu'à la séance n°3, les étudiants ont choisi le diamètre de la bielle pour éviter qu'elle ne flambe et le diamètre de ses rotules pour que les surfaces de contact ne plastifient pas (résistent au matage).

L'hypothèse H3 prévoyait : « H3 (III-4.2.2) : une source de difficulté dans l'exploitation des résultats de calcul est la tendance à confondre modèle et réalité simulée et de considérer les résultats de calcul réalisés grâce au modèle comme vrais sans condition. En conséquence, nous nous attendons à ce que les étudiants ne remettent pas en cause les résultats de calcul, même si leurs choix de solutions invalident les hypothèses qu'ils avaient faites pour effectuer ce calcul »

Sur les 6 groupes ayant conçu la bielle et ses rotules, tous ont dessiné des pièces aux dimensions compatibles avec les résultats de calcul précédents. Ils semblent donc les avoir pris en compte. Cependant, pour faire ces calculs, des hypothèses avaient été faites sur la géométrie de la bielle et de la surface de contact dans les rotules : la bielle était un tube cylindrique circulaire creux, la surface de contact était une demi-sphère. Or, d'après les dessins que les étudiants en font, les choix finaux de la géométrie de ces pièces sont différents de la géométrie initiale pour les 6 groupes concernés : bielle pleine, bielle en deux parties soudées, bielle filetée avec épaulements, contact seulement sur une portion d'hémisphère. Pour autant, les étudiants remettent-ils en cause les résultats des calculs et les dimensions qui en découlent ? Dans le discours des étudiants, seul le groupe C1 les remet en cause explicitement (<C1>[19-23][42-57][80-101], annexe 3). Le groupe E1 les remet en cause à la demande de l'enseignant (<E1-p>[53][55], annexe 3). Des extraits de ces discours sont donnés ci-dessous

Groupe C1, à propos des rotules de la bielle :
19. <C1-2> : oui ben là ça se visse, le problème c'est que dans le calcul, on n'a pas tenu compte de ça quoi
20. <C1-3> : on a supposé que quand il y avait un effort, elle venait s'appuyer là dessus
21. <C1-2> : oui quand tu pousses, mais après dans l'autre sens tu tires, quand il faut faire revenir le piston
22. <C1-1> : je ne crois pas qu'on ait un gros angle de débattement ici

Groupe E1, à propos du diamètre de la bielle (<E1-P> désigne l'enseignant) :
53. <E1-P> : bah oui. Ce que vous avez calculé, c'est les dimensions mini pour que ça puisse fonctionner.
54. <E1-3> : ça me fait tout changer (montre le calque)
55. <E1-P> : Ça fait juste des diamètres un peu plus grands, parce que au niveau des filetages ici il va y avoir des calculs de résistance à faire

Au total, donc, 4 groupes sur 6 ayant conçu la bielle et ses rotules n'exploitent pas correctement les résultats de calcul, ce qui confirme les conséquences prévues par l'hypothèse H3.

6.5. Difficultés à faire un choix collectif

Par les hypothèses H4 (III-4.3.2) et H5 (III-4.3.3) nous avons envisagé deux sources de difficultés possibles :

- l'hétérogénéité des groupes en ce qui concerne le vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques, avec, comme conséquences, des explications fastidieuses et des incompréhensions
- un décalage socio-cognitif entre étudiants et/ou la tendance de certains à se mettre en retrait, avec, comme conséquence, l'isolement, voire l'abandon d'un membre du groupe.

Qu'en est-il réellement ?

6.5.1. L'hétérogénéité des connaissances des étudiants d'un groupe peut conduire à des problèmes de communication et à la mise à l'écart d'un étudiant

Dans un groupe (B1), nous avons observé qu'un étudiant participait particulièrement peu à la conception. L'actigramme de ce groupe permet d'établir que, parmi les activités répertoriées de conception des sous-structures (conception individuelle sur brouillon, collaboration orale, échange d'informations, échange d'aide, dessin sur le calque, envoi de messages électroniques), l'étudiant B1-1 est celui qui y travaille le moins longtemps (voir figure 37, droite). Lors de la conception du blocage du système de réglage, le diagramme des capacités montre qu'il ne participe pas à l'élaboration de la solution : il ne fait aucune proposition, ni aucune évaluation. Cet

étudiant est aussi celui qui passe le plus de temps à "ne rien faire", lorsque l'on comptabilise les moments où il ne semble pas prendre part à l'avancement du projet (voir figure 37, gauche).

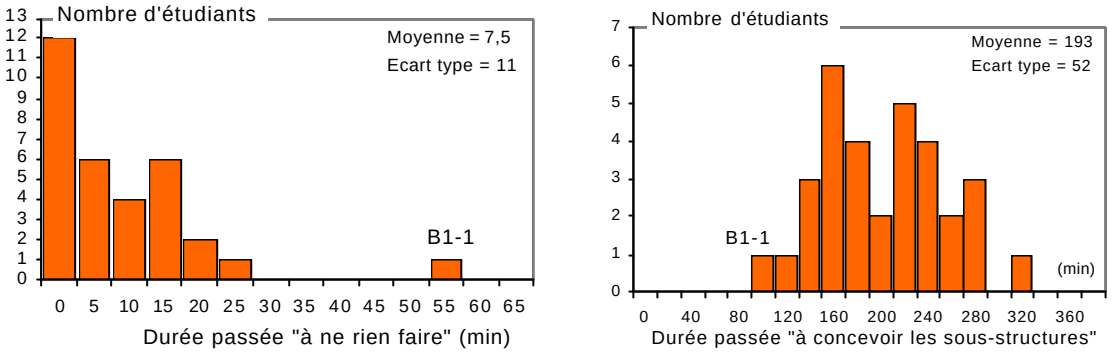


Figure 37 : Histogrammes de la durée passée par chacun des 32 étudiants filmés à ne rien faire (à gauche) et à participer à la conception des sous-structures (à droite)

Il se trouve que cet étudiant a une formation initiale différente de celle des deux autres étudiants du groupe : avant la licence, il était en préparation au DEUG MIAS (mathématique et informatique), qui n'apporte aucune connaisance des solutions techniques de l'industrie d'intervention du génie mécanique, alors que les deux autres étaient en CPGE PT et PT*, qui permet de connaître quelques solutions techniques, un vocabulaire de description de ces solutions et les représentations graphiques associées. La représentation des échanges dans ce groupe met en évidence que cet étudiant est aidé par les autres, surtout par B1-3 (figure 38).

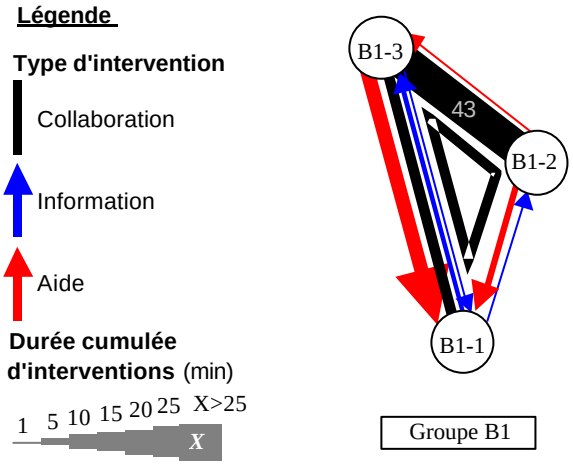


Figure 38 : Représentation des échanges entre les étudiants du groupe B1

Une analyse plus fine des discours (voir annexe 3, p. 83) montre que l'étudiant B1-1 exprime des difficultés à comprendre les solutions qui sont dessinées par les autres étudiants. Ses demandes d'explications portent en particulier sur des éléments de

machine classiques : dessin d'un écrou à encoches (4h05), « c'est quoi un bossage ? » (6h49).

L'étudiant B1-3 prend en charge de manière volontaire l'étudiant B1-1 : il diagnostique ses difficultés (3h44 : « je crois qu'il y a un truc qu'on a dit et qui te gène »), donne des explications sur des solutions dessinées sur des méthodes de conception (5h20 : « comment on fait une liaison entre deux pièces »), et lui prescrit des tâches dans la mesure de ses capacités (5h24 : il lui demande de prendre des mesures sur le plan).

Notons aussi que, selon les étudiants, deux objectifs semblent se dégager, et sont parfois incompatibles. Celui de l'étudiant B1-1 est de "comprendre" : (4h20) « c'est bien, j'ai compris le principe ». Celui de B1-2 et B1-3 est d'avancer le dessin. C'est pourquoi les attentes de B1-1 ne sont pas toujours suivies d'une réponse :

> Groupe B1, 5h20 :
> <B1-1> : « C'est quoi ce que tu dessines ? » –<B1-3> commence à expliquer des détails que <B1-1> demande, puis dit «il vaut mieux que je dessine et que je t'explique à la fin plutôt que d'expliquer dans le détail » –<B1-1> : « oui dessine et je te demanderai à la fin ».

Il apparaît donc que l'hétérogénéité des connaissances technologiques des étudiants de ce groupe a pour conséquence la mise à l'écart d'un étudiant par rapport à la participation au projet. Les hypothèses H4 et H5 semblent se vérifier dans 1 groupe sur 11. Par ailleurs, on a observé le tutorat d'un étudiant par un autre.

Un étudiant peut donc jouer un rôle particulier dans le groupe, ici celui de "tuteur". Observe-t-on d'autres prises de rôles ? Les étudiants se spécialisent-ils dans une tâche particulière ? Et est-ce que ces prises de rôles participent à la conception collaborative des sous-structures ? Nuit-elle à l'apprentissage individuel de chaque étudiant ?

6.5.2. Des rôles et des spécialisations des étudiants

En parallèle de la réalisation des actigrammes, nous avons noté les prises de rôles participant à l'organisation des groupes. Nous avons associé le rôle de "superviseur" aux activités observées de planification et de distribution du travail entre les membres du groupe. Le rôle d'"intégrateur" a été associé à l'activité observée de listage des contraintes entre les sous-structures à prendre en compte et celle de faire le bilan des sous-structures conçues. Enfin le rôle de "moteur" correspond aux prises d'initiatives, c'est-à-dire à l'expression orale de la prise en charge individuelle d'une tâche. Ajoutons à ces trois rôles celui de "tuteur", révélé par les échanges d'aide sur les représentations des échanges entre étudiants.

Un étudiant du groupe prend-il seul un de ces rôles ? Dans 6 groupes sur 11, c'est en effet ce que nous observons. Dans 5 groupes, il s'agit du rôle de superviseur, associé à celui de moteur ou d'intégrateur.

Les étudiants se spécialisent-ils aussi dans une tâche de conception ? En particulier, se spécialisent-ils dans l'utilisation d'un artefact particulier ou prennent-ils en charge seuls la conception d'une sous-structure ? Dans la suite, nous répondrons à ces questions, concernant donc quatre tâches :

- le dessin sur le calque
- l'utilisation de la messagerie électronique
- la participation aux échanges par visioconférences
- la prise en charge d'une sous-structure particulière.

La figure 39 ci-dessous montre que le partage du temps de dessin sur la feuille de calque est rarement fait de manière équitable entre les membres des groupes. En effet, un tel partage "équitable" serait de l'ordre de 33 % par étudiant dans les trinômes et 50% dans les binômes, par rapport à la durée cumulée consacrée par tous les étudiants du groupe. Une telle proportion est effectivement observée, concernant le dessin sur la feuille de calque, pour seulement 5 étudiants qui sont en trinôme (entre 30 et 40% sur l'histogramme) et pour aucun étudiant en binôme (entre 40% et 60% sur l'histogramme). Ils sont répartis dans 3 groupes : D1 (3 étudiants), E1 et F2.

A l'opposé, certains étudiants semblent se spécialiser dans cette tâche : 3 étudiants (A1-2, B1-2 et B2-2) réalisent de 80 à 100% du dessin (en durée), dans les 3 groupes A1, B1, B2 (voir les barres entourées en figure 39).

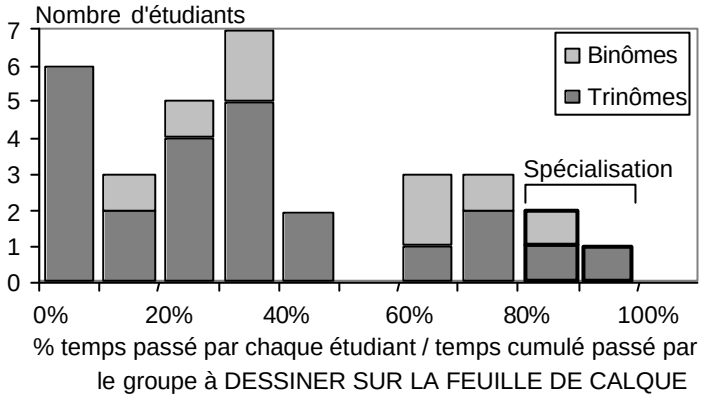


Figure 39 : Histogramme de partage du temps de dessin sur la feuille de calque entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes)

On a obtenu des résultats proches aux précédents concernant la tâche d'utilisation de la messagerie électronique. 5 étudiants (A1-2, C1-1, C2-1, D1-2, E1-2) semblent se spécialiser dans cette tâche (part supérieure à 80 %), dans les 5 groupes A1, C1, C2, D1, E1(voir les barres entourées en figure 40).

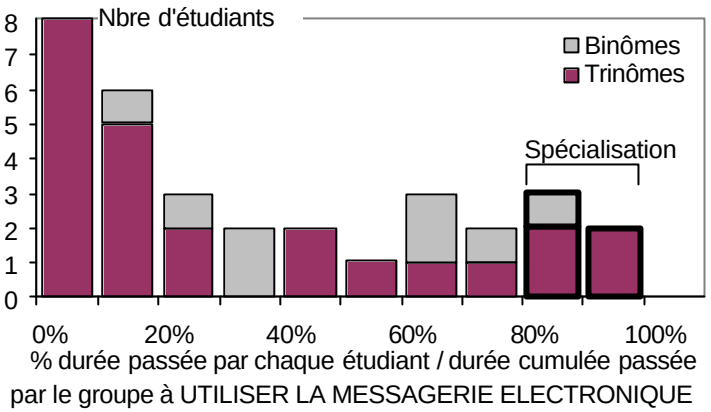


Figure 40 : Histogramme de partage du temps d'utilisation de la messagerie électronique entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes)

Par contre, le partage entre les étudiants de la durée passée en visioconférence est très équitable (figure 41). Cela coïncide avec le fait que la majorité des visioconférences se fasse en présence de tous les membres du groupe. Nous n'avons observé aucune spécialisation quant à cette tâche particulière.

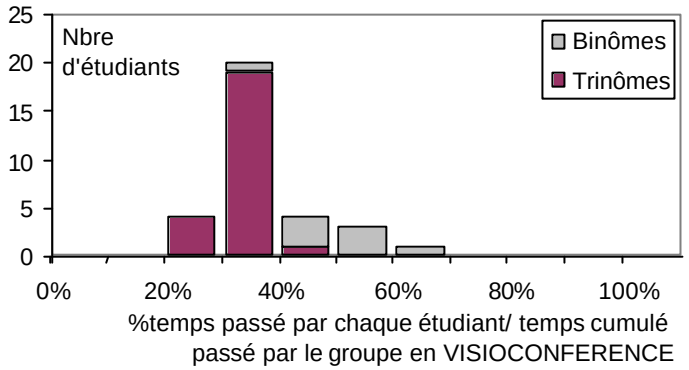


Figure 41 : Histogramme de partage du temps de présence en visioconférence entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes)

Les résultats précédents montrent qu'il y a effectivement, dans la majorité des groupes (7 sur 12), une spécialisation d'un étudiant au dessin sur le calque et/ou à l'utilisation de la messagerie électronique. Cependant, les représentations des échanges entre les membres des groupes montrent que ces "spécialistes" ne sont pas isolés du réseau d'échanges de leur groupe, et en particulier des collaborations (annexe 3, p. 80). Cette spécialisation des étudiants ne semble donc pas être un frein à une conception collaborative dans le groupe, où plusieurs étudiants élaborent ensemble une solution technique.

Mais on peut penser que cette spécialisation des étudiants dans des tâches spécifiques diminue l'opportunité des autres étudiants à réaliser cette tâche. Par conséquent, elle risque d'amoindrir les apprentissages de ces derniers concernant justement cette tâche.

Les étudiants se spécialisent-ils dans une tâche qu'ils savent déjà faire au départ ? Il est difficile de répondre à cette question. Il n'existe en tous cas apparemment aucune corrélation entre la formation préalable des étudiants et leur spécialisation.

Enfin, l'hypothèse H6 prévoit : « H6 (III-4.3.4) : la décontextualisation de la formation par rapport aux bureaux d'études industriels et la stratégie d'émulation des étudiants sont des sources de difficultés des étudiants pour effectuer un choix rationnel de solution technique prenant en compte les évaluations des solutions techniques proposées ».

6.5.3. Les choix de solutions techniques finalement retenues ne sont pas faits selon les critères d'évaluation

Lors de la séance n°2 de la formation, les étudiants ont dû faire, par unité de travail, le choix collectif de l'archétype qui servirait de départ pour concevoir la pompe doseuse. Ils avaient été guidés par l'enseignant en suivant une démarche d'analyse de la valeur pour l'aide à la décision. Dans le but de choisir une solution parmi plusieurs, issues de la veille concurrentielle, cette démarche permettait de poser le problème. Elle consistait à énoncer tous les critères de choix, à hiérarchiser ces critères, et à classer les différentes solutions selon ces critères. Cette démarche est-elle réinvestie lorsque les étudiants doivent faire eux-mêmes le choix d'une solution pour concevoir la bielle et ses rotules ou le blocage du système de réglage ? Les principes de cette démarche, qui permet de poser un problème d'évaluation et de choix d'une solution, sont-ils appliqués par les étudiants ?

Nous avons observé, dans le discours des étudiants, puis dans les diagrammes des capacités, que les étudiants ne procèdent pas selon ces principes : ils ne proposent pas plusieurs solutions simultanément, ils n'énoncent pas une liste de critères d'évaluation et ne hiérarchisent pas de critères. Ils procèdent plutôt par propositions et éliminations successives. En effet, de manière générale, au sein d'un groupe, un étudiant propose une solution, qui est critiquée par les autres et défendue par celui-ci, puis soit modifiée et précisée en tenant compte des critiques, soit oubliée en laissant la place à une autre proposition. Et ainsi de suite. La fin de ce cycle traduit le choix de la solution qui sera dessinée, mais dans aucun groupe ce choix fait l'objet d'un consensus où tous les étudiants exprimeraient leur accord. Cette alternance de critiques et de défenses, puis de propositions concurrentes s'apparente à la « stratégie d'émulation » repérée par Robert Pléty.

Il semble donc que les étudiants repèrent effectivement l'unité d'un problème (la conception de la sous-structure), mais les arguments utilisés n'est pas une hiérarchie des critères d'évaluation.

Nous avons noté que deux conditions semblent influencer la prise de décision quant au choix d'une solution (c'est-à-dire l'arrêt du cycle décrit précédemment).

La première est que la solution soit choisie et dessinée par les autres groupes qui suivent la formation. Ainsi, le groupe A2 choisit une solution parce qu'elle a été choisie par les autres (annexe 3, <A2-2>[37] : « Les autres groupes, ils utilisent ça (montre son dessin avec coquille) »).

La deuxième est que la solution soit proposée ou/et validée par l'enseignant : le tableau 20 montre que, pour 7 groupes sur 11, la solution finalement choisie est la solution qui a été proposée ou validée par l'enseignant.

De plus, nous avons constaté que les enseignants ont parfois tendance à pousser les étudiants à adopter une solution qu'il a lui-même prédéterminée, « la bonne » solution. Nous l'avons observé dans le discours des enseignants concernant 4 groupes. Dans 3 de ces cas, c'est cette solution qui sera justement adoptée par les étudiants. Nous donnons ci-après les références et la retranscription de ces discours (voir annexe 3) :

– <A1-p>[40] : « la réponse, tu l'as ici (montre l'écorché de la pompe Milroyal sur document papier), on le voit bien ».

– <E1-p>[24] : « […] la seule possibilité c'est de faire une demi-sphère et ensuite une autre partie ici ». – <E1-p>[36] : « […] le plus simple c'est de mettre deux demi-rotules ».

– <E2-p>[9-22] : « […] ce qu'il va falloir faire, c'est des demi-rotules […] il faut faire deux demi-rotules […] vous mettez une bielle en deux parties ».

– <F1-p>[8] : « [un système] à double réglage ? Non, tapez directement sur un réglage fin. Un seul système de réglage […] ». – <F1-p>[41] : « […] ça manque d'obstacle, ça. C'est uniquement sur des histoires de serrage, et ça, c'est pas fiable. Il faut des obstacles. […] ».

La difficulté prévue par H6, difficulté d'effectuer un choix rationnel grâce aux critères d'évaluation est donc vérifiée. De même, nous avons observé une certaine stratégie d'émulation entre les étudiants. Mais ce n'est pas la seule cause de ce cette difficulté. D'autres ont été observées : le poids accordé aux solutions choisies par les autres groupes et celles proposées et/ou validées par l'enseignant.

7. Bilan et discussion

7.1. Bilan des difficultés

La figure ci-dessous présente le bilan des sources de difficultés observées, et qui ont eu des conséquences sur la production ou/et la méthode mise en œuvre par les étudiants pour concevoir, de manière collective, deux sous-structures de la pompe doseuse : la bielle et ses rotules d'une part et le blocage du système de réglage.

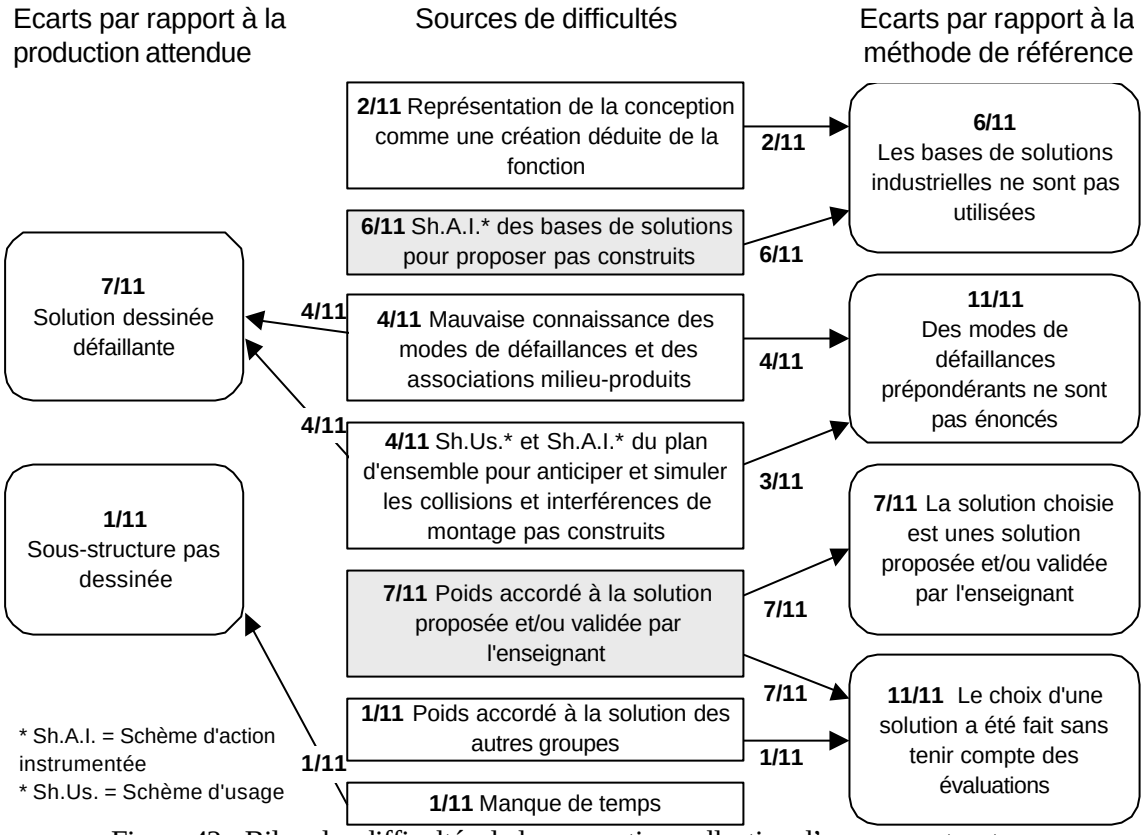


Figure 42 : Bilan des difficultés de la conception collective d'une sous-structure de la pompe doseuse

Cette figure ne présente pas les sources de difficultés suivantes, qui ont aussi été observées, mais qui n'ont pas de conséquence directe sur la production ni la méthode des étudiants :

- l'incapacité à exploiter les résultats de calcul (4/11) ;
- la mise à l'écart d'un étudiant qui dispose moins de connaissances sur les solutions techniques et sur le vocabulaire technique (1/11) ;
- la spécialisation des étudiants (7/11).

7.2. La connaissance des associations milieu-produits

Nos observations semblent confirmer l'hypothèse que nous avons formulée dans la discussion des résultats de la tâche n°1 : les étudiants se représentent l'existant technique comme un ensemble d'associations d'une fonction de service avec une solution technique, sans prise en compte des milieux de fonctionnement. Cela expliquerait que peu d'entre eux utilisent les bases de solutions industrielles pour proposer plusieurs solutions techniques. Cela expliquerait aussi qu'ils n'anticipent pas les modes de défaillance, et qu'ils ne cherchent pas d'autres solutions que celle proposée par l'enseignant, lorsqu'il les aide.

A ce propos, nos observations ont aussi montré une tendance des enseignants à guider les étudiants vers une solution unique, et cela a sans doute une influence sur la construction d'une telle représentation. Cela pose le problème du rôle de l'enseignant, en référence aux pratiques professionnelles et de son mode d'intervention didactique. Doit-il jouer le rôle d'un chef de bureau d'études, concepteur expérimenté, ce qui correspondrait à une « interaction de tutelle » (Dumas-Carré et Weil-Barais, 1998) ? C'est ce que nous avons observé. Ou doit-il plutôt être un médiateur entre les étudiants et l'existant technique accessible par des bases de données techniques ?

Michaël Huchette – 2002

Chapitre IV.

Tâche 3 : Difficultés de la conception des interfaces

La tâche n°3 à laquelle nous nous intéressons dans ce chapitre est la conception des interfaces entre deux sous-structures, chacune étant prise en charge par un des deux groupes jumelés. Les étudiants réalisent cette tâche au cours des séances n°4 et n°5, sur une durée totale de 8 heures.

1. Description de la tâche prescrite

Pendant les huit dernières heures de la formation, pendant lesquelles s'effectue la conception des interfaces qui nous intéresse ici, les étudiants travaillent par unité de travail, chaque unité de travail étant constituée de deux groupes de deux ou trois étudiants. Un groupe suit la formation Codimi dans une salle, alors que son groupe jumelé suit la formation dans une autre salle. Excepté à la pause de midi, où ils peuvent se voir à l'extérieur des salles de classe, les étudiants ne peuvent communiquer que par visioconférence ou par messages électroniques synchrones (ou *chat*).

1.1. La consigne et les données de départ

Ensemble, deux groupes jumelés doivent concevoir une pompe doseuse : en partant du schéma cinématique qui a été dessiné à la séance précédente, ils doivent dessiner son plan d'avant-projet. Plus précisément, chaque groupe doit dessiner sur une feuille de calque, à l'échelle 1, la partie de la machine dont il a la charge. Ils travaillent à distance, et, lors du rassemblement final des étudiants, les deux dessins ainsi produits doivent se compléter par superposition des feuilles.

La feuille de consigne 29 donnée aux étudiants au début de la séance 4 est présentée ci-dessous.

CONSTRUCTION DES DIFFERENTES ENTITES, PAR GROUPE

1°) Donnez les limites d'encombrement des sous-structures, dont vous êtes responsables, groupe distant avec lequel vous êtes jumelé.

2°) Vous êtes responsables du dessin fini des entité suivantes :

Moteur, sa bride, son axe	formes carter/moteur
Accouplement	formes carter/cellule de dosage
Vis-roue	formes carter/coulisseau
Plateau inclinable	formes carter/sol
Liaison pivot manivelle-plateau	formes carter/pivot de vis
Laison pivot plateau-carter	formes carter/système de réglage
Liaison complète roue-manivelle	formes carter/plateau
Liaison pivot vis-carter	système de réglage
Deux liaisons rotules bielle	blocage du système de réglage
Liaison coulisseau piston	liaison plateau inclinable/système de réglage
Liaison coulisseau-carter	les nervures
	formes du carter/lubrification par barbotage
	formes carter/crochet de manutention

3°) Préparez une revue de projet, qui aura lieu par visio-conférence, à partir de 10 heures, pour 10' au maximum et dont le but est de fixer :

- les contraintes d'un groupe sur l'autre ;
- les décisions déjà acquises sur ces contraintes
- l'heure du prochain rendez-vous de visio-conférence ainsi que le travail qui devra être fini pour ce rendez-vous (vous vous inscrirez au tableau pour votre passage)

Figure 43 : Feuille de consigne 29 donnée aux étudiants au début de la séance 4

Cette feuille de consigne propose une méthode de conception des interfaces en prévoyant l'encombrement des sous-structures, puis précise la répartition des sous-structures entre deux groupes jumelés. Elle propose aussi une organisation des visioconférences autour de la notion de « contrainte d'un groupe sur l'autre ».

1.2. Les outils de communication à distance

Deux groupes jumelés travaillent à distance dans deux salles différentes. Les moyens dont ils disposent pour communiquer sont un logiciel de messagerie électronique synchrone (dialogue électronique ou *chat*), utilisable sur l'ordinateur de chaque groupe et d'un poste de visioconférence avec un banc-titre, dont l'utilisation est partagée entre les cinq groupes qui suivent la formation simultanément.

Le logiciel de dialogue électronique est le logiciel ICQ. Il permet d'afficher dans une fenêtre, à l'écran d'ordinateur, ce que l'interlocuteur tape au clavier de manière quasi-simultanée. Il permet de répondre par un texte, de manière aussi rapide.

Le poste de visioconférence avec banc-titre permet de communiquer de manière synchrone avec le groupe distant, oralement et visuellement. En effet, un haut-parleur retransmet en direct le discours des interlocuteurs, et un téléviseur retransmet l'image de leur buste et l'image des documents qu'ils ont posés sur le banc-titre, sur une table.

2. La production attendue

2.1. Deux dessins complémentaires

D'après la consigne, donc, le but de cette tâche est de dessiner le plan d'avant-projet de la pompe doseuse, en deux parties sur deux feuilles de calques différentes. Sur chaque feuille de calque, chacun des deux groupes jumelés représente la partie de la machine qu'il a en charge. Les deux dessins doivent être complémentaires.

Nous précisons ci-dessous en quoi ils doivent êtres complémentaires. D'abord, dans un cadre général (2.2), puis dans le cas particulier de la pompe doseuse, avec la distribution imposée dans Codimi (2.3).

2.2. Proposition d'une typologie des interfaces

Afin de dessiner deux plans qui se complètent par superposition des calques, les étudiants devront donc passer une partie de leur temps à rendre compatibles leurs solutions techniques respectives. Le but est que toutes les sous-structures, qu'elles soient conçues par l'un ou l'autre des deux groupes jumelés, coexistent au moment du fonctionnement de la pompe doseuse et qu'elles contribuent toutes à ce qu'elle assure ses fonctions de service. Ce sont les "zones" où se posent les problèmes de compatibilité que nous appelons interfaces. Les décisions prises sur les zones d'une sous-structure 1 qui se trouvent à l'interface de celle-ci avec une autre sous-structure 2 ont des conséquences sur les décisions à prendre sur une zone de la sous-structure 2, et inversement.

Nous appelons paramètres déterminant l'interface ce qu'il faut décider sur deux sous-structures, à leur interface, pour assurer leur compatibilité. Concevoir une interface consiste donc à définir les paramètres déterminant l'interface , et communiquer ces paramètres déterminant l'interface au groupe jumelé. Pour les étudiants, les paramètres déterminant l'interface à définir sont des jeux, des surfaces de jonction et le milieu

intérieur de la pompe doseuse. Nous listons ci-dessous en quoi consistent, de manière générale, ces trois types de paramètres déterminant l'interface .

Les jeux consistent en des espaces qu'il est nécessaire de laisser libres par l'un ou l'autre des groupes pour laisser la place à une pièce ou un ensemble de pièces que l'autre groupe a en charge. Il existe 2 types de jeux :

- Les jeux de fonctionnement : ils sont nécessaires au fonctionnement correct de la machine. S'ils n'existaient pas, les guidages ne se feraient pas, il y aurait des interférences de position et des interférences cinématiques (collisions) entre les pièces de la machine.
- Les jeux de montage. Par exemple, les ouvertures dans le carter, une fois les couvercles enlevés, doivent permettre le passage de toutes les pièces et ensembles de pièces montées, sous peine d'interférences de montage.

Les surfaces de jonction séparent deux parties conçues par deux groupes jumelés. Elles sont de deux types :

- Des surfaces fictives qui séparent une pièce en deux parties au sein de la matière, chacune de ces parties étant conçue et représentée par un des deux groupes jumelés
- Des surfaces de contact entre deux pièces assemblées (autrement dit en liaison complète), chacune des deux pièces étant conçue et dessinée par un des deux groupes jumelés

Le milieu intérieur :

Les éléments de la machine définis par les deux groupes jumelés doivent être compatibles avec le même milieu intérieur. Par exemple, les joints d'étanchéité montés sur le carter doivent être adaptés au lubrifiant utilisé pour le réducteur.

2.3. Cas particulier de la pompe doseuse : les interfaces que les étudiants doivent définir

Plus précisément, concernant la pompe doseuse que les étudiants doivent concevoir, la figure 44 représente par des segments les liaisons de contact (guidages et assemblages) entre deux sous-structures. Les segments épais représentent les liaisons de contact aux interfaces, c'est-à-dire qui relient deux sous-structures dont l'un est à la charge d'un groupe et l'autre à la charge du groupe jumelé.

Dans la liste précédente des paramètres déterminant l'interface , ceux qui sont représentés sur ce schéma sont donc uniquement les jeux de fonctionnement dans les guidages et les surfaces de contact entre deux pièces assemblées. La nécessité de définir ces paramètres déterminant l'interface peut donc être anticipée grâce au schéma cinématique et à la consigne de distribution des sous-structures (feuille de consigne 29). La consigne n°3 de cette feuille de consigne 29 prescrit d'ailleurs aux étudiants de « fixer les contraintes d'un groupe sur l'autre » dès la première visioconférence.

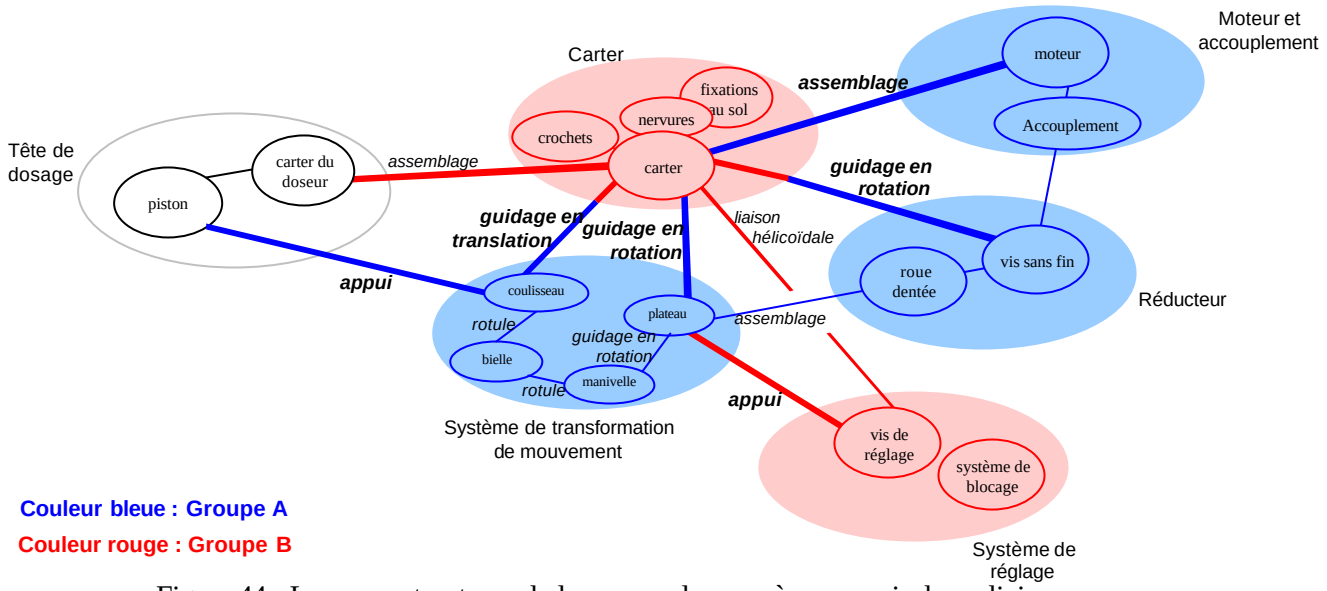


Figure 44 : Les sous-structures de la pompe doseuse à concevoir, leurs liaisons de contact et leur distribution entre les deux groupes jumelés (d'après le schéma cinématique corrigé et la feuille de consigne 29)

Ainsi, les jeux dans les guidages doivent être prévus (la géométrie des surfaces parfaites théoriques de contact entre les pièces réalisant les guidages doivent être identiques sur les deux dessins) ; les interférences de position doivent être évitées ; les interférences cinématiques doivent être évitées ; les ouvertures dans le carter doivent permettre le montage des pièces à l'intérieur ; les surfaces de jonction doivent être identiques sur les deux dessins ; le milieu intérieur doit être prévu et être cohérent.

3. La méthode de référence

Comment doit-on s'y prendre pour concevoir les interfaces ? Quelle méthode les étudiants doivent-ils apprendre à mettre en œuvre ? Et en particulier en ce qui concerne la pompe doseuse ?

Dans les entreprises, une partie des interfaces est mise en évidence dès le découpage du projet selon les sous-structures de la machine. Par exemple, pour concevoir une voiture, tous les projets sont découpés en sous-ensembles de façon standard : planche de bord, climatisation, instrumentation, soubassement, berceau moteur, train avant, train arrière, freinage (Chez Renault, d'après Luzi, 1997, p. 60). Lors de ce découpage, certaines relations entre ces sous-structures sont déjà connues : par exemple certains composants du système de freinage devront être fixer sur le train avant et le train arrière (les freins), sur le soubassement (tuyaux d'alimentation hydraulique et câble d'indication de l'usure des disques), etc. Ces « relations » permettent d'établir l'existence ou non d'une interface entre deux sous-structures

attribuées à deux équipes. Pour les étudiants, il en est de même : un découpage en sous-structures leur est imposé au départ, et on leur demande d'effectuer une première visioconférence qui fixera « les contraintes d'un groupe sur l'autre » (voir figure 44). Puis au fur et à mesure de la conception de chacune des sous-structures, des décisions seront prises sur le choix de solutions techniques. Il faudra que ces solutions, adoptées sur l'une ou l'autre des sous-structures, soient compatibles entre elles. Les « relations » précédentes devront être préciser et respecter de manière par les deux groupes. D'autres interfaces, qui étaient inconnues au début du projet, émergeront et les contraintes qu'elles imposent devront aussi être précisées et respectées.

Deux stratégies de coordination, imposée par la conception des interfaces, sont possibles. Elles diffèrent sur la façon de lever l'indétermination due au fait qu'un concepteur ne connaît pas les solutions adoptées sur une autre sous-structure par un autre concepteur (parce qu'elles n'ont pas encore été conçues ou sont en cours d'élaboration), alors qu'il en a besoin pour avancer son travail.

La première stratégie, que nous appelons *stratégie contractuelle* consiste à définir l'interface a priori, de manière hypothétique à partir du peu qui est connu des sous-structures. Cette interface fait office de contrat entre les équipes de concepteurs, en sachant qu'elle peut faire l'objet de négociations au cours de l'avancement du projet. C'est par exemple la stratégie adoptée par Bertrand Nicquevert (2000, p.9-11), dont la mission est d'« assurer l'intégration géométrique » lors du grand projet de conception du détecteur de particules ATLAS au CERN (Centre Européen de Recherche Nucléaire). Pour cela, il définit a priori un espace maximum pour chaque sous-système du détecteur, attribué à chaque équipe de concepteurs. Le premier but est de permettre à chaque équipe de travailler, de la manière la plus indépendante possible des autres, en levant (de manière fictive) l'indétermination portant sur les sous-structures voisines. Le deuxième but est de définir un objet sur lequel pourront avoir lieu les discussions et les négociations : elles porteront sur cette surface « enveloppe », frontière entre deux espaces attribués. Cette stratégie contractuelle a aussi été observée par Jean-Claude Moisdon et Benoît Weil (1992, p. 41) : lors de la conception d'une voiture, « les techniciens [de bureau d'études] prévoient au départ des marges de manœuvre importantes, en affichant des contraintes plus fortes qu'ils doivent effectivement observer », qu'il est ensuite possible de négocier. Cette stratégie permet la conception simultanée de deux sous-structures interdépendantes, par deux concepteurs différents.

La deuxième stratégie de coordination consiste à prendre en compte ce qui est déjà conçu par les autres concepteurs pour venir s'adapter dessus. Cette stratégie que nous qualifions d'*opportuniste* correspond à l'idée de Pascal Béguin lorsqu'il décrit « l'intégration technique » dans la conception de circuits électriques comme « la prise en compte de la production d'autrui à titre de composante dans sa production propre » (Béguin, 1994, p. 153). Cette stratégie suppose qu'un concepteur (ou équipe) doive attendre que l'autre concepteur ait fini de concevoir sa sous-structure avant de concevoir celles qui en dépendent. Afin qu'un concepteur ne soit pas bloqué, en attente d'informations produites par un autre concepteur, la stratégie « opportuniste » doit

s'accompagner d'une planification de la conception des sous-structures en fonction de leur distribution entre les concepteurs et des contraintes qui les lient.

Ce que nous retenons de commun entre toutes ces pratiques, c'est que, dans un projet de conception distribuée, il est nécessaire d'anticiper le lieu des interfaces, c'est-à-dire les sous-structures concernées, dès le début du travail simultané de différentes équipes. Soit pour définir des espaces enveloppes réservés à chaque sous-structure. Soit pour faire la planification de la conception des sous-structures en fonction des besoins d'informations aux interfaces.

Les premières consignes données aux étudiants vont dans ce sens :
« donnez les limites d'encombrement des sous-structures dont vous êtes responsables, au groupe distant avec lequel vous êtes jumelés »
« Fixer les contraintes d'un groupe sur l'autre ».

C'est pourquoi la méthode de conception des interfaces que nous prenons comme référence consiste à :

1. Anticiper le lieu des interfaces et définir des espaces enveloppes ou planifier la conception des sous-structures en prenant en compte les contraintes d'interface
2. Définir et communiquer au groupe jumelé les paramètres déterminant l'interface
3. Prendre en compte les informations communiquées sur les paramètres déterminant l'interface lors de la conception des sous-structures

4. Hypothèses sur les sources de difficultés

La conception des interfaces, nécessaire pour assurer la compatibilité des différentes sous-structures conçues par chacun des deux groupes jumelés, impose d'abord des contraintes dans les activités que chacun des groupes doit effectuer de son côté. La première contrainte est que ces activités doivent être coordonnées. La deuxième est que, lors de la conception d'une sous-structure, les étudiants doivent prendre en compte l'existence potentielle des sous-structures à la charge du groupe jumelé, qui ne sont pas dessinées sur leur feuille de calque. Ensuite, la conception des interfaces passe par la communication à distance des paramètres déterminant l'interface.

4.1. Anticiper les problèmes d'incompatibilités aux interfaces

4.1.1. Anticiper le lieu des interfaces pour se coordoner avec le groupe jumelé

Comme nous l'avons écrit à la section 2.3, il est possible de prévoir que certaines sous-structures soient concernées par l'interface à concevoir, grâce au schéma cinématique et à la consigne 29 qui donne la distribution des sous-structures entre les deux groupes jumelés. Ils permettent en effet de prévoir la nécessité de définir deux types de paramètres déterminant l'interface : des jeux de fonctionnement dans les guidages et les surfaces de contact entre pièces assemblées (que nous regroupons sous l'acception commune « surface de contact »). Mais pour définir des espaces d'encombrement ou planifier l'ordre de conception des sous-structures, il faut déjà avoir une idée du principe de solution qui serait susceptible d'être retenu pour chaque sous-structure. En entreprise, lorsqu'il s'agit de concevoir une machine dont il existe des versions précédentes déjà commercialisées, c'est sur ces versions que l'ont peut s'appuyer pour prévoir les lieux d'interface. Ce n'est pas le cas pour les étudiants et nous pensons que ce sera une source de difficultés.

HYPOTHÈSE H1 : Nous faisons l'hypothèse que la nécessité de prévoir les principes de solution de l'ensemble des sous-structures au début du projet de conception, est une source de difficultés pour anticiper les lieux de l'interface. Par conséquent, nous prévoyons que les étudiants ne définiront pas d'espaces enveloppes et ne planifieront pas leur conception. Cela risque de leur poser des problèmes de synchronisation.

4.1.2. Anticiper les problèmes d'incompatibilités en tant que modes de défaillance possibles

Outre son organisation, la conception des interfaces consiste à prendre en compte, lors de la conception des sous-structures, les sous-structures qui sont à a charge du groupe jumelé. Le but est qu'elles soient toutes compatibles entre elles. Dans le schéma de la « boucle d'actualisation » proposée par Yves Cartonnet (Cartonnet, 2000), que nous avons décrit à la section 4.1 du chapitre III, où la conception des interfaces intervient-elle ? Elle intervient d'une part quand les étudiants doivent anticiper les limites d'une solution envisagée. Alors les étudiants ne doivent pas omettre que les problèmes d'incompatibilité avec les sous-structures à la charge du groupe jumelé sont des limites possibles de la solution qu'ils envisagent. D'autre part, quand ils doivent évaluer une solution proposée, pour vérifier que celle-ci est compatible avec les sous-structures du groupe jumelé. Alors, ils doivent simuler l'existence de ces dernières, prévoir le volume qu'elles occuperont, une fois la machine montée. Ils doivent aussi prendre en compte les trajectoires des pièces qui la constituent lors du fonctionnement et du montage.

Cependant, l'enseignant ne demande pas aux étudiants de représenter les sous-structures du groupe jumelé. De plus celles-ci sont connues uniquement par les informations que le groupe jumelé leur a communiquées, par messages électroniques ou en visioconférence. Parmi les informations dont disposent les étudiants, les sous-structures conçues par le groupe jumelé sont donc a priori "absentes", et leur prise en

compte nécessite de faire un effort d'anticipation et de simulation de leur "présence", contrairement aux sous-structures conçue localement et qui doivent figurer sur le calque.

HYPOTHÈSE H2 : Contrairement aux travaux pratiques de bureau d'études mécaniques « habituels », les étudiants ne disposent pas, sur le plan d'ensemble, du dessin des parties de la machine sur lesquelles leurs solutions techniques doivent être adaptées. Et il ne leur est pas demandé de les dessiner. Leur dessin doit être complémentaire d'un dessin qui n'est pas sur leur feuille de calque. Nous faisons l'hypothèse que c'est une source de difficultés pour prendre en compte les problèmes de compatibilité aux interfaces comme des défaillances possibles des sous-structures. Elle pourrait causer des erreurs de compatibilité aux interfaces.

4.2. Communiquer les paramètres déterminant l'interface

Comme nous l'avons dit précédemment, la conception des interfaces par deux groupes jumelés suppose que l'un et l'autre se communiquent les informations nécessaires : les paramètres déterminant l'interface à définir et ceux qui sont déjà décidés par l'un des deux groupes. On peut envisager aussi que les deux groupes conçoivent ensemble une interface lors d'une réunion en visioconférence, en définissant les paramètres déterminant l'interface .

Deux conditions doivent être respectées pour que les informations données par un groupe soient correctement utilisées par le groupe jumelé. La première est que le langage utilisé par l'un soit compris par les étudiants de l'autre groupe. La deuxième est que les étudiants soient capables d'utiliser les outils de communication à distance que sont la messagerie électronique et le poste de visioconférence avec banc-titre.

4.2.1. Utiliser un langage précis et compréhensible par tous pour communiquer la description d'une solution technique

Pierre Falzon (1989), a montré que, dans des conditions de travail, le langage utilisé dans les interactions entre hommes varie selon les situations à traiter et les connaissances des locuteurs et interlocuteurs. Selon l'auteur, l'efficacité de la communication est moins bonne si l'évaluation des connaissances de l'interlocuteur est inadéquate. Par contre, la communication est optimisée si l'émetteur anticipe correctement le contexte dans lequel le destinataire essaie de comprendre l'information communiquée et évalue correctement les connaissances du destinataire. Ces conclusions sont assez générales, et même si le propos de l'auteur concerne le dialogue fonctionnel en situation de travail, nous considérons qu'elles sont aussi valables pour notre analyse, précisément pour l'analyse des dialogues fonctionnels entre les étudiants.

De manière implicite, les étudiants doivent donc utiliser un vocabulaire qui soit compréhensible par les autres et n'offre aucune ambiguïté concernant les informations

échangées. Comme nous l'avons vu précédemment, pour les étudiants qui conçoivent une pompe doseuse, les paramètres déterminant l'interface sont des jeux, des surfaces de jonction et le milieu intérieur. Les informations à transmettre sont des composants techniques, des formes géométriques et des dimensions ou distances, associées à des fonctions à assurer et à des sous-structures. Elles peuvent être communiquées sous la forme de :

- explication d'une fonction à assurer, nom d'une sous-structure
- noms de composants, de pièces, de formes géométriques, noms de matériaux
- coordonnées de points, valeurs de distances
- dessins de pièces

HYPOTHÈSE H3 : Comme pour la tâche n°2, (Chap. III, 4.3.2), nous supposons que l'hétérogénéité des groupes, en ce qui concerne la maîtrise du vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques, est une source de difficultés pour une communication efficace entre les groupes. Cette difficulté pourrait donc, selon nous, se traduire par des explications fastidieuses pour les élèves qui n'ont pas eu de formation technologique préalable, et par des incompréhensions de la part de ceux-ci lors d'explications techniques faites par les étudiants qui ont eu une formation technologique préalable.

4.2.2. Utiliser les outils de communication

En tant qu'artefacts, au sens de Pierre Rabardel (Rabardel, 1995), l'utilisation efficace des outils de communication nécessite que les étudiants aient construit des schèmes d'utilisation. Parmi eux, les schèmes d'usage sont les constructions mentales qui permettent la maîtrise des modes opératoires propres à l'utilisation d'un artefact pour lui-même. Les schèmes d'action instrumentée sont celles qui permettent d'incorporer l'utilisation appropriée de l'artefact dans une action plus globale. Afin d'identifier les schèmes d'usage à mettre en œuvre pour utiliser les outils de communications, nous donnons ci-dessous les modes opératoires d'utilisation de la messagerie électronique, puis du poste de visioconférence. Ensuite, pour préciser les schèmes d'action instrumentée, montrons comment l'utilisation de ces outils s'insère de manière pertinente dans l'action de communication des paramètres déterminant l'interface .

La messagerie électronique est un logiciel installé sur l'ordinateur dont dispose chaque groupe à son poste de travail. Le logiciel utilisé lors de la formation Codimi est le logiciel ICQ. Au cours de son utilisation, le logiciel se présente à l'écran sous la forme d'une fenêtre séparée en deux zones (voir figure 46). La zone inférieure contient le texte écrit par l'étudiant grâce au clavier. La zone supérieure contient le texte écrit par le groupe jumelé. Les textes apparaissent à l'écran au fur et à mesure qu'ils sont tapés au clavier. Les modes opératoires d'utilisation de la messagerie sont limités à cliquer sur un bouton à l'écran et taper du texte au clavier. Nous supposons donc que les étudiants disposent des schèmes d'usage associés et que l'utilisation de la messagerie ne sera pas

une source de difficulté. L'utilisation de cette messagerie lors des séances précédentes, pendant 8 heures, nous conforte dans cette hypothèse.

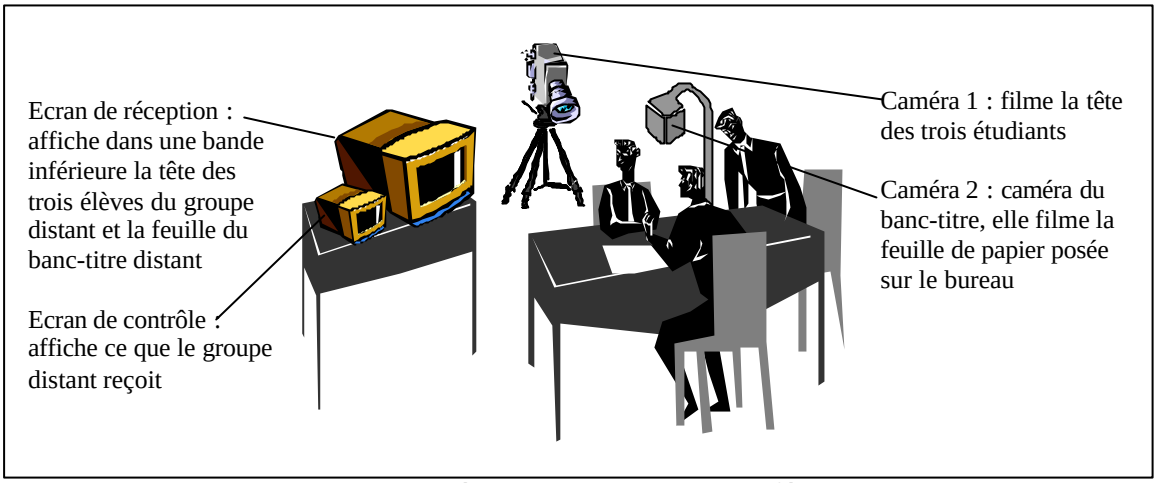


Figure 45 : Détail d'un poste de visioconférence

La figure 45 représente le matériel qui constitue le poste de visioconférence que les étudiants utilisent. L'image qui est retransmise est divisée en deux parties (voir figure 46) : une bande en bas de l'écran montre la tête des interlocuteurs distants, le reste de l'écran montre ce qui est disposé sous la caméra du banc-titre. Les étudiants doivent disposer les chaises et leur corps pour que leur tête soit dans le champ de la caméra 1, en vérifiant l'écran de contrôle, de telle manière que leur visage puisse être vu par le groupe distant. Ils doivent disposer la feuille qu'ils veulent communiquer juste en dessous de la caméra 2 du banc-titre, dans le sens de lecture. Le texte qui figure sur cette feuille doit être écrit assez grand, avec un feutre assez épais, de telle sorte que le groupe jumelé puisse le lire sur son écran de réception. Ils doivent parler assez fort pour être entendus par le groupe distant. Des tours de parole doivent être pris et signalés pour qu'un dialogue puisse s'instaurer. Les schèmes qui correspondent à la gestion du dialogue oral sont proches des schèmes d'utilisation du téléphone, à la différence que la visioconférence permet de voir le visage de l'interlocuteur et permet de dialoguer avec plus qu'un seul interlocuteur. Notons que si un des modes opératoires cités ci-dessus n'est pas correctement effectué par un des étudiants, la compréhension de ce qui est communiqué sera altérée, mais cela pourra être signalé par le groupe distant. L'ajustement de ces modes opératoires pourra alors se faire, ainsi que l'apprentissage, par essais et erreurs, des schèmes d'usage associés. C'est pourquoi nous ne ferons pas d'hypothèse de difficultés qui seraient due à un défaut de schèmes d'usage du poste de visioconférence.

Qu'en est-il des schèmes d'action instrumentée ? Comment l'utilisation de la messagerie électronique et du poste de visioconférence s'insère-t-elle de manière pertinente dans l'action de communication des paramètres déterminant l'interface ?

Nous avons vu que les différentes natures des informations à transmettre sont :

- explication d'une fonction à assurer, nom d'une sous-structure ;
- noms de composants, de pièces, de formes géométriques, noms de matériaux ;

- coordonnées de points, valeurs de distances ;
- dessins de pièces.

Utiliser les outils de communication de manière appropriée pour communiquer les paramètres déterminant l'interface s au groupe jumelé consiste d'abord à choisir le bon outil (messagerie électronique ou visioconférence) ou la bonne combinaison d'outils, en fonction de la nature de l'information à transmettre. La principale contrainte est que le banc-titre de la visioconférence est le seul moyen donné aux étudiants pour montrer un dessin au groupe distant. Les schèmes d'action instrumentée qui consistent à choisir la bonne combinaison d'outils de communication en fonction de la nature de l'information à transmettre doivent être construits par les étudiants au cours de la formation Codimi. Nous pensons que ce n'est pas une source de difficultés.

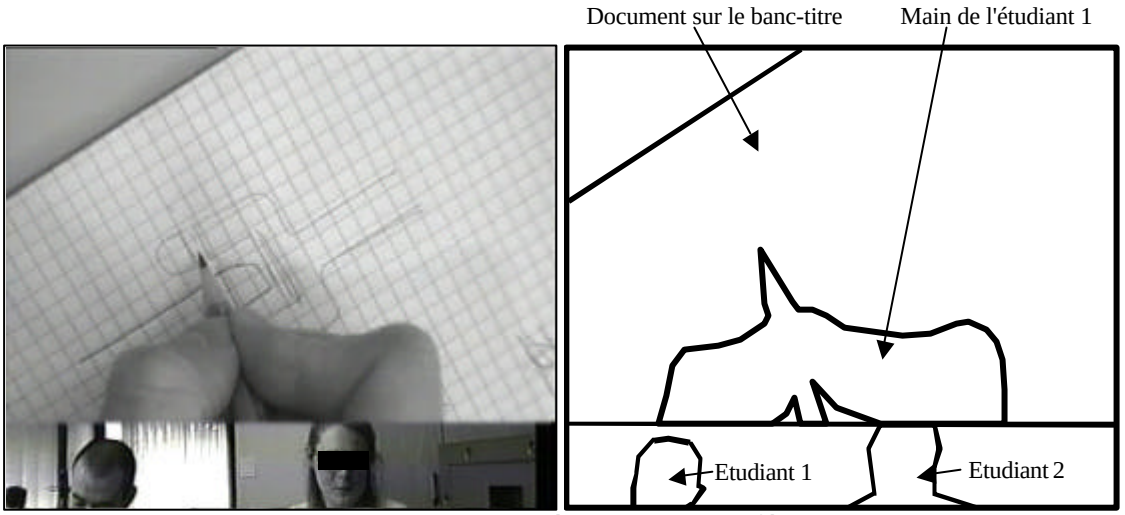


Figure 46 : Copie de l'écran de visioconférence

Ensuite, comme nous l'avons noté précédemment, la communication sera meilleure si l'émetteur évalue correctement les connaissances du récepteur, et en particulier s'il évalue correctement que celui-ci a bien compris l'information transmise. Les étudiants doivent pour cela construire des schèmes qui permettent de contrôler que l'information a bien été comprise par au moins un étudiant du groupe jumelé. Dans le dialogue oral, ces schèmes sont déjà construits, et peuvent être utilisés tels quels en visioconférence, concernant les informations transmises oralement. Ces schèmes peuvent être adaptés au dialogue écrit par messages électroniques. Il reste à vérifier la bonne compréhension des dessins communiqués au moyen du banc-titre lors d'une visioconférence. Les étudiants ne disposant pas du même document, s'ils veulent disposer d'un dessin montré en visioconférence, ils doivent le reproduire eux-mêmes. Inversement, le groupe qui montre ce dessin peut contrôler que la prise de note est correcte si celle-ci est effectuée sous la caméra du banc-titre. A notre avis, les étudiants ne contrôleront pas de manière systématique que la prise de note du groupe distant est conforme à leur document original, et ceux qui prennent des notes ne leur demanderont de le vérifier.

HYPOTHÈSE H4 : En supposant que le poste de visioconférence est un outil jamais utilisé auparavant par les étudiants pour communiquer des données géométriques, ni aucun autre outil dont ils auraient pu adapter les schèmes, nous faisons l'hypothèse qu'ils n'ont pas construits les schèmes d'actions instrumentées correspondants. En particulier celui qui permet de contrôler la bonne prise de notes en visioconférence.

4.3. Bilan des hypothèses

Nous rappelons ci-dessous les hypothèses de sources de difficultés que nous avons émises, concernant la tâche n°3 de conception des interfaces. Entre parenthèses, nous rappelons la référence du paragraphe dans lequel nous avons construit et énoncé les hypothèses.

H1 (IV-4.1.1) : La nécessité de prévoir les principes de solution de l'ensemble des sous-structures au début du projet de conception est une source de difficultés pour anticiper les lieux de l'interface. Par conséquent, nous prévoyons que les étudiants ne définiront pas d'espaces enveloppes et ne planifieront pas leur conception. Cela risque de leur poser des problèmes de synchronisation.

H2 (IV-4.1.2) : Le dessin des étudiants doit être le complémentaire d'un dessin qui n'est pas sur leur feuille de calque. Nous faisons l'hypothèse que c'est une source de difficultés pour prendre en compte les problèmes de compatibilité aux interfaces comme des défaillances possibles des sous-structures. Elle pourrait causer des erreurs de compatibilité aux interfaces.

H3 (IV-4.2.1) : L'hétérogénéité des groupes, en ce qui concerne la maîtrise du vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques, est une source de difficultés pour une communication efficace entre les groupes. Cette difficulté pourrait donc, selon nous, se traduire par des explications fastidieuses pour les élèves qui n'ont pas eu de formation technologique préalable, et par des incompréhensions de la part de ceux-ci lors d'explications techniques faites par les étudiants qui ont eu une formation technologique préalable.

H4 (IV-4.2.2) : En supposant que le poste de visioconférence est un outil jamais utilisé auparavant par les étudiants pour communiquer des données géométriques, ni aucun autre outil dont ils auraient pu adapter les schèmes, nous faisons l'hypothèse qu'ils n'ont pas construits les schèmes d'actions instrumentées correspondants. En particulier celui qui permet de contrôler la bonne prise de notes en visioconférence.

5. Méthodologie

Dans cette section 5, nous décrivons et nous justifions le dispositif d'observation que nous avons mis en place afin de valider ou non les hypothèses précédentes, concernant les difficultés des étudiants à effectuer la conception collective d'une sous-structure.

5.1. Population observée

Les productions effectives des étudiants ont été mesurées sur les calques rendus par les 42 unités de travail (c'est-à-dire 84 groupes jumelés deux à deux) des promotions de 1999, 2000 et 2001.

La mesure des méthodes mises en œuvre et la validation des hypothèse a été faite sur la promotion de 2000, constituée de 14 unités de travail (c'est-à-dire 28 groupes jumelés deux à deux). Le nombre d'étudiants des groupes concernés, et leur formation d'origine sont indiqués en annexe 4, p. 140. Ces unités de travail comptent entre 4 et 6 étudiants, répartis dans deux groupes de 2 à 3 étudiants.

Pour les mêmes raisons que pour la tâche 1 et 2, nous avons constitué des groupes avec le plus de configurations différentes possibles concernant les origines scolaires. De plus, afin que les étudiants se sentent investis dans un projet collectif, nous avons conservé la même constitution des groupes tout au long de la formation Codimi, autant que l'organisation globale de la formation le permettait (en particulier concernant la gestion des absences d'étudiants).

5.2. Dispositif d'observation

5.2.1. Mesure de la production des étudiants

La production effective des étudiants, c'est-à-dire deux dessins sur deux feuilles de calques, a été permis par la récolte des feuilles de calques.

La définition de la production effective des étudiants consisté à superposer les paires de feuilles de calques rendus, et à vérifier que les dessins étaient bien complémentaires, c'est-à-dire que les solutions dessinées étaient compatibles.

Les descripteurs retenus pour identifier les incompatibilités ont été choisis par rapport aux paramètres déterminant l'interface à définir pour concevoir les interfaces (section 2.3 de ce chapitre). Le tableau suivant fait la liste des paramètres déterminant l'interface à définir et donne les descripteurs des erreurs de compatibilité correspondant.

Tableau 22 : Descripteurs des incompatibilités observables par superposition des deux feuilles de calque

Paramètres déterminant l'interface à définir	**Incompatibilités possibles**	**Descripteurs des incompatibilités**
Jeux de fonctionnement	Interférence de position de deux pièces statiques	Les dessins de deux pièces statiques dessinées sur les deux feuilles de calque se chevauchent
	Écart de forme des surfaces théoriques de contact* de deux pièces en mouvement relatif	**(a)** Les formes représentées (type de forme géométrique et dimensions) des surfaces théoriques de contact sont différentes sur les deux calques
	Écart de position des surfaces théoriques de contact* de deux pièces en mouvement relatif	**(b)** La position des surfaces théoriques de contact par rapport au reste de la machine est différente sur les deux calques
	Interférence cinématique (collisions)	Le tracé de la trajectoire d'un point extrême d'une pièce mobile coupe le dessin d'une autre pièce
Jeux de montage	Interférence de montage	La largeur maximale de tous les orifices du carter dessiné est plus petite que la dimension minimale d'une pièce représentée à l'intérieur du carter
Surfaces fictives de jonction	Écart de forme des surfaces fictives de jonction	Idem **(a)** pour les surfaces fictives de jonction
	Écart de position des surfaces fictives de jonction	Idem **(b)** pour les surfaces fictives de jonction
Surfaces d'assemblage	Écart de forme des surfaces de contact* de deux pièces assemblées	Idem **(a)** pour les surfaces de contact de deux pièces assemblées
	Écart de position des surfaces de contact* de deux pièces assemblées	Idem **(b)** pour les surfaces de contact de deux pièces assemblées
Le milieu intérieur	Milieu intérieur incohérent	Les solutions techniques dessinées pour assurer la lubrification et l'étanchéité ne sont pas compatibles

* Dans la suite, on appellera « surface de contact » les surfaces théoriques de contact dans les guidages et les surfaces de contact entre deux pièces assemblées. Nous appellerons « liaisons de contact » les guidages et les assemblages. Ce sont des interfaces dont les paramètres déterminants sont de même nature.

En complément de ces descripteurs d'incompatibilités, nous avons aussi repéré les interfaces où il manquait un raccord entre les dessins de deux groupes jumelés. Cela correspond pour nous à des interfaces qui ne sont pas dessinées par l'unité de travail.

5.2.2. Mesure de la méthode suivie

La méthode de référence , que nous avons donnée à la section 3, consiste à :

1. Anticiper le lieu des interfaces et définir des espaces enveloppes ou planifier la conception des sous-structures en prenant en compte les contraintes d'interface
2. Définir et communiquer au groupe jumelé les paramètres déterminant l'interface
3. Prendre en compte les informations communiquées sur les paramètres déterminant l'interface lors de la conception des sous-structures.

Nous voulons mettre en évidence les méthodes mises en œuvre par les étudiants, pour les comparer à la méthode de référence précédente. Il s'agit donc de déterminer :

- Les espaces enveloppes que les deux groupes jumelés se sont définis
- L'ordre chronologique de conception qu'ils se sont imposés
- Les informations communiquées entre les groupes jumelés au sujet des interfaces
- Le dessin des sous-structures à l'interface, à propos desquelles ils ont communiqué.

Par ailleurs, le tableau ci-dessous rappelle nos hypothèses de sources de difficultés et donne les descripteurs qui permettent de valider les valider.

Tableau 23 : Liste des descripteurs qui permettent de valider les hypothèses

Réf. hypothèse	**Énoncé de l'hypothèse**	**Descripteurs**
H1 (IV-4.1.1)	La nécessité de prévoir les principes de solution de l'ensemble des sous-structures au début du projet de conception est une source de difficultés pour anticiper les lieux de l'interface. Donc les étudiants ne définiront pas d'espaces enveloppes et ne planifieront pas leur conception. Donc ils auront aussi des problèmes de synchronisation avec le groupe jumelé.	Les espaces enveloppes que les deux groupes jumelés se sont définis - L'ordre chronologique de conception qu'ils se sont imposés – Attente d'informations en cours de définition par le groupe jumelé
H2 (IV-4.1.2)	Le dessin des étudiants doit être le complémentaire d'un dessin qui n'est pas sur leur feuille de calque. C'est une source de difficultés pour prendre en compte les problèmes de compatibilité aux interfaces comme des défaillances possibles des sous-structures. Donc des erreurs de compatibilité aux interfaces.	Incompatibilités dessinées mais pas envisagée dans les communications
H3 (IV-4.2.1)	L'hétérogénéité des groupes, en ce qui concerne la maîtrise du vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques, est une source de difficultés pour une communication efficace entre les groupes. Donc explications fastidieuses, et incompréhensions.	Mauvaise compréhension d'une information communiquée - Incompatibilités dessinées
H4 (IV-4.2.2)	En supposant que le poste de visioconférence est un outil jamais utilisé auparavant par les étudiants pour communiquer des données géométriques, ni aucun autre outil dont ils auraient pu adapter les schèmes, nous faisons l'hypothèse qu'ils n'ont pas construits les schèmes d'actions instrumentées correspondants. En particulier celui qui permet de contrôler la bonne prise de notes en visioconférence.	Dessins recopiés non conformes à l'original retransmis par le banc-titre de la visioconférence - Incompatibilités dessinées

En bilan, afin d'identifier les méthodes mises en œuvre par les étudiants, et de valider les hypothèses de sources de difficultés, nous devons déterminer :

- Les espaces enveloppes que les deux groupes jumelés se sont définis
- L'ordre chronologique de conception qu'ils se sont imposés
- L'attente d'informations en cours de définition par le groupe jumelé
- Les informations communiquées entre les groupes jumelés au sujet des interfaces
- Les dessins retransmis lors des visioconférences
- Le dessin des sous-structures à l'interface, à propos desquelles ils ont communiqué
- Incompatibilités dessinées (établies lors de la mesure des productions).

La mesure des méthodes mises en œuvre par les étudiants pour concevoir les interfaces a été faite par l'enregistrement de l'intégralité des communications à distance entre les groupes jumelés, au cours des séances 4 et 5. Pour cela, nous avons enregistré sur cassettes vidéo les images et les sons retransmis lors des visioconférences, et nous avons ramassé les "feuilles de brouillon" des étudiants à la fin de la formation, en particulier celles qui ont servi de support au cours des visioconférences. Nous avons aussi enregistré les messages électroniques échangés.

Par ailleurs, pour vérifier l'ordre de conception des sous-structures, nous utilisons de nouveau les données obtenues par l'enregistrement vidéo des 12 groupes (6 unités de travail) filmés à leur poste, données qui ont été utilisées au chapitre précédent.

5.3. Traitement des films

Le traitement des films d'enregistrement des visioconférences a consisté à retranscrire l'intégralité des discours des étudiants, et repéré les schémas montrés au banc-titre. Ces retranscriptions, ainsi que les messages électroniques, figurent en annexe 4.

Comme notre objectif est d'identifier des sources de difficultés, nous avons analysé uniquement les informations qui ont été communiquées au sujet des interfaces qui ont posé des problèmes, c'est-à-dire qui présentent des incompatibilités lorsque l'on superpose les calques. Dans les textes de retranscription des visioconférences et des messages électroniques, nous avons donc repéré les informations échangées au sujet des paramètres déterminant ces interfaces « mal conçues ».

Pour chacune de ces interfaces à problème, nous avons ainsi rédigé une fiche qui décrit la démarche des étudiants au travers des informations échangées à ce sujet (référencées en marge). Ces fiches sont rassemblées en annexe 4, pp. 155-170. En bas de chaque fiche, nous récapitulons les actions observées des étudiants qui ont mené à l'échec de la conception de l'interface. Un exemple est présenté ci-dessous :

AB1 : INCOMPATIBILITE N°1

Défauts de compatibilité observés aux interfaces : Le carter est dessiné par B1 en une seule pièce sans ouverture et ne permet pas le montage des pièces qui sont dessinées par A1 à l'intérieur
Objets d'interfaces en jeu : Jeu nécessaire au passage des pièces lors du montage

Méthode de conception de l'interface	Données
B1 demande à C1 comment il monte le roulement. A1 propose de tout monter par un côté du carter et de mettre un chapeau. B1 propose de faire une grande ouverture latérale. A1 et B1 discutent de la possibilité de faire une ouverture au dessus du carter, puis proposent d'en reparelr plus tard.	VISIO.4[143-160]

Explications des défauts de compatibilité aux interfaces :
(1) : B1 dessine le carter à la fin de la formation et ne prennent pas en compte les discussions sur les problèmes d'ouverture pour mermettre le montage

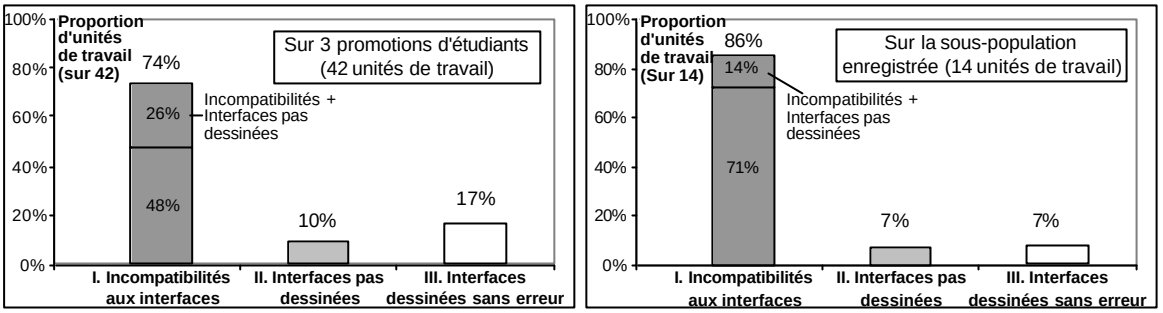
Figure 47 : Exemple de fiche décrivant les méthodes erronées

6. Résultats : difficultés et sources de difficultés

A la section 3.4 du chapitre I, le bilan des hypothèses de difficultés des étudiants à effectuer la tâche n°3 a permis d'identifier trois sources potentielles de difficultés : la coordination entre deux groupes distants, le réinvestissement de connaissances technologiques, et l'utilisation d'outils de communication à distance. Dans ce paragraphe "résultats", nous donnons d'abord la production effective et la méthode mise en œuvre par chaque groupe observé, puis les résultats empiriques qui permettent de valider ou non les hypothèses de difficultés, regroupés selon les trois sources de difficultés précédentes.

6.1. Les productions effectives des étudiants

La figure 48 donne les productions effectives des 42 unités de travail ayant suivi la formation Codimi en 1999, 2000, puis 2001. Elle met en évidence que 3/4 des unités de travail ont dessiné des solutions incompatibles aux interfaces. Cette figure montre aussi que, dans la promotion 2000, une seule unité de travail sur 14 (7%) a rendu des dessins entièrement complémentaires. Parmi les 3 unités de travail (21%) comptabilisés dans la catégorie « interfaces pas dessinées » en 2000, notons que 2 n'ont pas fini leur dessin d'ensemble. Il semble qu'ils aient manqué de temps.



I. Les deux dessins rendus présentent des incompatibilités aux interfaces
II. Les deux dessins sont compatibles, mais ils ne sont pas terminés à certaines interfaces
III. Pour les sous-structures dessinées, toutes les interfaces sont dessinées sans incompatibilité

Figure 48 : Productions des étudiants, concernant la conception des interfaces (42 unités de travail, en 1999, 2000 et 2001)

La figure 49 précise que les erreurs de compatibilités aux interfaces observées sur les dessins sont en majorité des écarts de position et de dimension des surfaces de contact, c'est-à-dire des surfaces de guidage et d'assemblage. Notons qu'environ une unités de travail sur 5 fait aussi des erreurs de collisions (interférences cinématiques) entre des pièces conçues par les deux groupes jumelés.

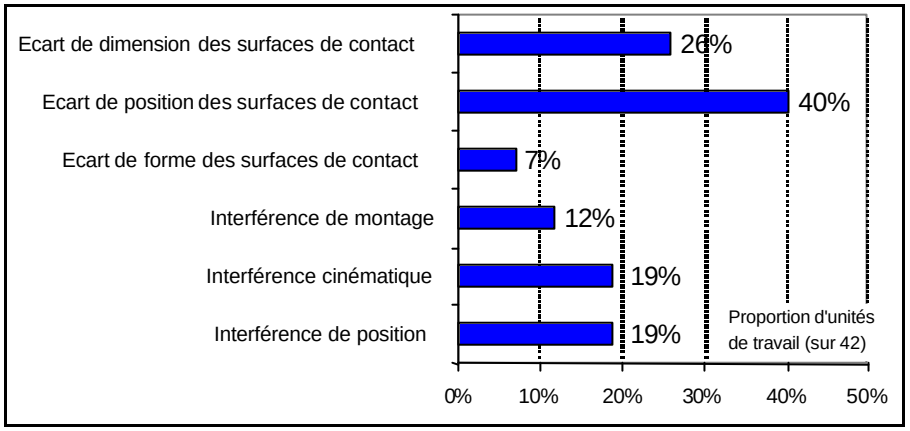


Figure 49 : Incompatibilités aux interfaces observées sur les dessins rendus (42 unités de travail en 1999, 2000, et 2001)

L' annexe 4, en pages 143 et 144, présente le détail des résultats obtenus par unité de travail.

6.2. Les méthodes mises en œuvre par les étudiants

Rappelons de nouveau la méthode de référence. Elle consiste à :

1. Anticiper le lieu des interfaces et définir des espaces enveloppes ou planifier la conception des sous-structures en prenant en compte les contraintes d'interface
2. Définir et communiquer au groupe jumelé les paramètres déterminant l'interface
3. Prendre en compte les informations communiquées sur les paramètres déterminant l'interface lors de la conception des sous-structures.

A propos de l'étape n°1, le tableau en annexe 4, page 142, récapitule les planifications effectuées par les étudiants dans les échanges à distance, dont une synthèse est présentée ci-dessous. Il apparaît que 5 UT sur 14 planifient au début de la séance 4 l'ordre de conception des sous-structures en fonction des besoins d'informations aux interfaces.

Tableau 24 : Activités de planification en fonction des besoins d'information aux les interfaces observés au début de la séance n°4

Activité de planification	**Unités de travail**	**Nombre d'unités de travail**
Les étudiants ont fait la liste des interfaces au début et planifient en fonction des besoins d'informations sur les interfaces	AB1, AB4, CD4, CD5, EF2	5 sur 14
Les étudiants ont décidé du point de départ de la conception par le besoin d'informations à une interface	AB2, CD3	2 sur 14

Par ailleurs, seule CD5 prévoit et communique, au début de la séance 4, la hauteur du système pour positionner le système de réglage. Ainsi, ces étudiants définissent l'espace enveloppe réservé au système de transformation de mouvement et celui réservé au carter, en hauteur. Au total, 7 unités de travail sur 14 n'ont pas prévu les lieux de l'interface : ils n'ont pas prévu d'espaces enveloppes, et n'ont pas planifié.

Le tableau suivant montre les écarts observés entre les méthodes mises en œuvre par les étudiants par rapport aux étapes 2 et 3 de la méthode de référence, qui concernent des interfaces qui ont été dessinées avec des incompatibilités ou des interfaces qui n'ont pas été dessinées.

Tableau 25 : Écarts de méthode à l'origine des défauts de compatibilité dessinées et des dessins incomplets aux interfaces

Écarts de méthode	**Unités de travail**	**Nombre d'unités de travail**
Interface pas évoquée, paramètres déterminant l'interface pas communiqués	Pas dessinée : AB5, EF3. Incompatibilité : AB5, CD3, CD4, CD5, EF1, EF2,	2 6 7 sur 14
Les informations communiquées ne sont pas ou mal prises en compte lors du dessin	Incompatibilité : AB3, AB1, AB4, CD1, CD2, CD4, CD5, EF1, EF2, EF4	10 sur 14

6.3. Difficultés d'anticipation des interfaces

Intéressons nous d'abord aux observations qui permettent de valider l'hypothèse suivante : « H1 (IV-4.1.1) : La nécessité de prévoir les principes de solution de l'ensemble des sous-structures au début du projet de conception est une source de difficultés pour anticiper les lieux de l'interface. Par conséquent, nous prévoyons que

les étudiants ne définiront pas d'espaces enveloppes et ne planifieront pas leur conception. Cela risque de leur poser des problèmes de synchronisation ».

6.3.1. Les lieux des interfaces est peu anticipé

Deux faits nous montrent que les lieux des interfaces sont peu anticipés par les étudiants.

Le premier est un résultat portant sur les méthodes : seulement 5 unités de travail sur 14 planifient au début de la séance 4 l'ordre de conception des sous-structures en fonction des besoins d'informations aux interfaces. Mais cette planification n'est en fait pas toujours suivie. En effet l'ordre observé de conception des sous-structures ne correspond pas souvent à celui planifié. Parmi la sous-population des 6 unités de travail filmées, 2 avaient planifié (AB1, EF2), et une a suivi l'ordre qu'elle avait prévu (AB1). Les données qui le montrent sont rassemblées en annexe 4, p. 142. Ci-dessous, nous donnons l'exemple du groupe AB1, qui planifie lors d'échanges de messages électroniques, et qui respecte l'ordre chronologique prévu de conception des sous-structures : B1 conçoit le système de réglage pendant que A1 conçoit la vis, la roue, le plateau. Puis B1 conçoit la liaison entre le plateau et le système de réglage.

Messages électroniques échangés, groupe AB1 :
« 350. <A1> je regarde l'axe du doseur pour savoir comment me raccorder et donc vou dire ou le positionner
351. <B1>> ce qui serait bien pour nous, ca serait que tu yt'in teresses d'abord a la conception du plateau
352. <A1> d'acc
353. <B1>> cad l'ensemble roue-vis -plateau
354. <B1>> ca nous permettra de demarrer la conception du systeme de reglage et la liaison avec le plateau
[…]
360. <B1>> a notre avis:
361. <B1>> -tu desine la vis
362. <B1>> - la roue (pas la peine de definir la pivot vis/carter)
363. <A1> et la roue
364. <B1>> -comme ca tu peux apres te lancer sur le plateau; on aura du mal a demarrer sans ca... »

Michaël Huchette – 2002

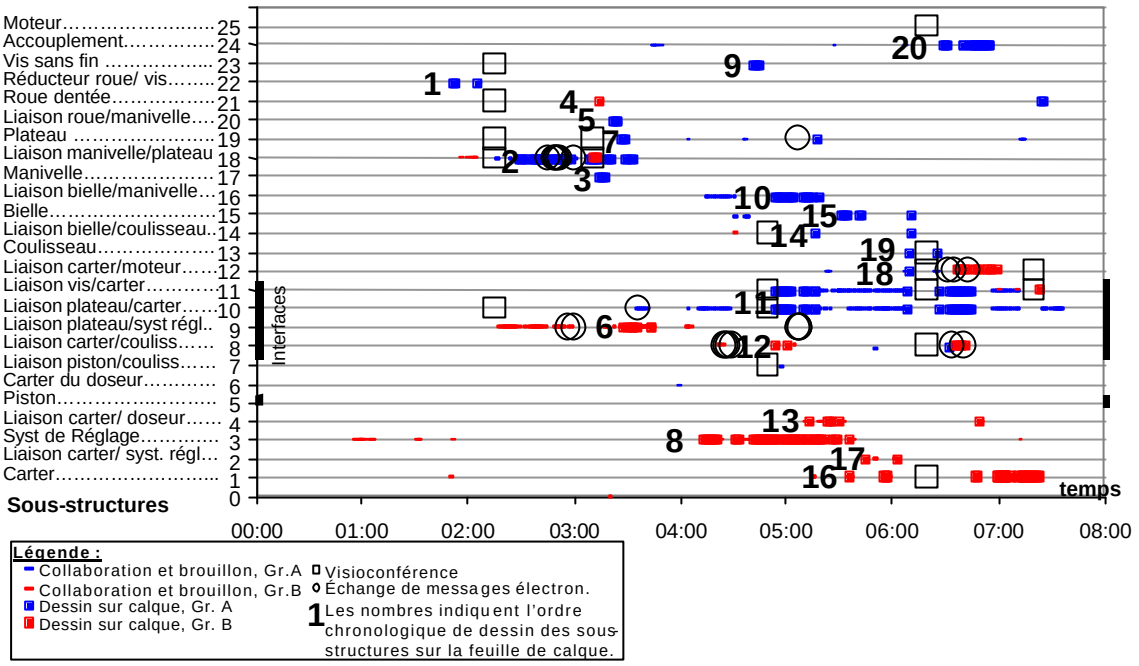


Figure 50 : Actigramme de la conception des sous-structures par les 2 groupes de l'unité de travail AB1. Ordre chronologique de dessin des sous-structures.

Le deuxième fait est que seule l'unité de travail CD5 (sur 14) prévoit et communique, au début de la séance 4, la hauteur du système pour positionner le système de réglage. Ainsi, ces étudiants définissent l'espace enveloppe réservé au système de transformation de mouvement et celui réservé au carter, en hauteur.

Peu d'étudiants organisent donc explicitement la conception distribuée de la pompe doseuse en fonction des besoins d'informations aux interfaces. Il semble donc que les interfaces soient le fruit d'une conception « au coup par coup ». Mais, malgré qu'il ne soit pas planifié, l'ordre réel de conception des sous-structures obéit-il à une organisation implicite où la conception des interfaces serait une priorité ?

L'observation d'une sous-population de 6 unités de travail pendant les séances 4 et 5 nous a permis de déterminer l'ordre chronologique de conception des sous-structures. Ainsi nous avons représenté, sur le graphe des liaisons de contact (guidages et assemblages) de la pompe doseuse, les « points de départ » de la conception. Ce sont les sous-structures ou les interfaces qui sont dessinées au moment ou rien qui soit lié à cette sous-structure (au sens des liaisons de contact : guidages et assemblages) n'est déjà représenté sur la feuille de calque. Un exemple de schéma est présenté ci-après, celui de l'unité de travail EF1. Les autres sont en annexe 4, p. 152.

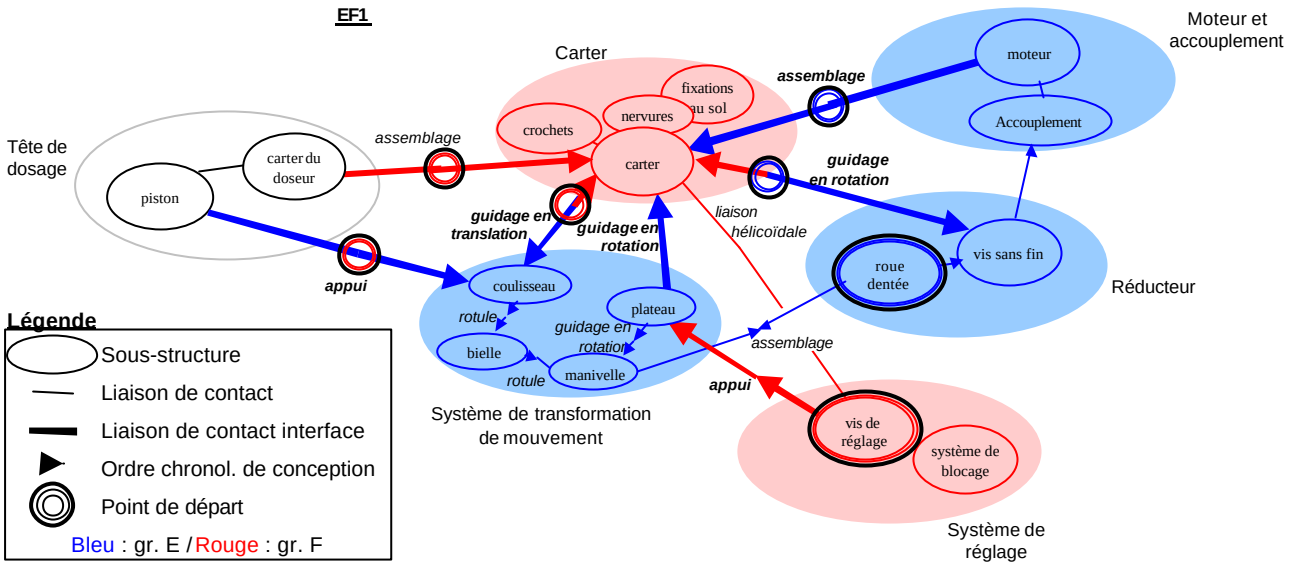


Figure 51 : Exemple de schéma de présentation des points de départ de conception : 7 points de départ, dont 5 aux interfaces

Si on fait le bilan des points de départ de conception sur les 6 unités de travail filmées, on s'aperçoit qu'ils sont 41, et que parmi eux, 19 sont aux interfaces, soit 46%. La figure suivante donne la répartition du taux d'interfaces parmi les points de départ de conception. Il varie entre 20% et 71%.

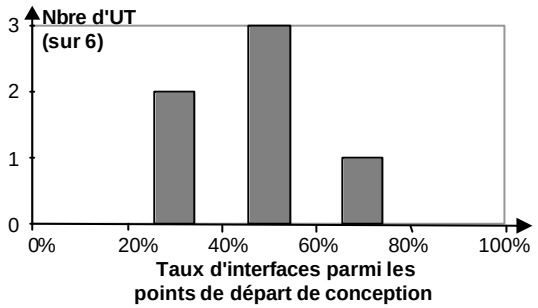


Figure 52 : Taux d'interfaces parmi les points de départ de conception

Il apparaît que, sur cette sous-population de 6 unités de travail, la conception des sous-structures ne soit pas une priorité. Cela confirme que les étudiants n'organisent pas leur conception autour des problèmes de compatibilité aux interfaces.

Cela a-t-il des répercussions sur la synchronisation des paires de groupes jumelés ? Nous avons observé que 3 groupes, appartenant à 3 unités de travail différentes (sur 14), ont dû attendre leur groupe jumelé parce qu'ils avaient besoin d'informations que ce dernier ne pouvait encore fournir. En effet, dans leurs échanges à distance, on a trouvé des demandes d'informations insistantes d'un groupe et un moment d'attente de celui-ci, pendant que l'autre groupe s'attelait à concevoir une sous-structure qui permettrait de déterminer les informations demandées. Nous rapportons ci-dessous des extraits de leurs messages électroniques :

Groupe B3 :
« 997. <B3>> la liaison entre la vis et l'arbre moteur prend quelle place?
998. <B3>> (urgent) »
Groupe B4 :
« 722. <B4>> et comment voulez vous que l'on positionne les logement des différents roulements
723. <A4> On y travaille. ca arrive.
724. <B4>> ça urge !!!
725. <A4> On sait que sa urge. On fait le plus vite possible. »
Groupe D4 :
« 781. <D4>> LE MOTEUR CA DEVIENT URGENT POUR NOUS!!!!!!!!!!!!!!!!!
782. <D4>> Ya t'il quelkun pour me repondre?
783. <D4>> Answer please ! ! ! !
784. <D4>> codimi09 Need an answer !
785. <D4>> please
786. <D4>> please
787. <C4> repondre a quoi?
788. <C4> desole pour l'attente »

Notons que AB4 et CD4, avaient pourtant planifié. Par ailleurs, dans l'unité CD5, qui a aussi planifié, les deux groupes ont fait une modification concernant une interface, dans l'urgence, chacun de leur côté. Ils ont prévenu le groupe jumelé trop tard pour qu'il puisse prendre en compte cette modification.

En conclusion, nos observations valident assez bien l'hypothèse H1 : peu d'étudiants organisent la conception des sous-structures en fonction besoins d'informations pour régler les problèmes de compatibilité aux interfaces. Cependant la conséquence prévue n'a été observée que pour 4 unités de travail sur 14 : ils sont les seuls à avoir rencontré des problèmes de synchronisation..

6.3.2. Des incompatibilités aux interfaces ne sont pas considérées comme défaillances possibles

La deuxième hypothèse concerne l'anticipation et la simulation des problèmes de compatibilités lors de la conception : « H2 (IV-4.1.2) : Le dessin des étudiants doit être le complémentaire d'un dessin qui n'est pas sur leur feuille de calque. Nous faisons l'hypothèse que c'est une source de difficultés pour prendre en compte les problèmes de compatibilité aux interfaces comme des défaillances possibles des sous-structures. Elle pourrait causer des erreurs de compatibilité aux interfaces ». Qu'en est-il dans les faits ?

En premier lieu, les résultats sur les méthodes mises en œuvre par les étudiants (tableau 26) montrent que 6 unités de travail sur 14 n'évoquent pas l'interface entre des sous-structures qu'ils ont pourtant dessinées (mais incompatibles). Les défauts de compatibilité correspondant appartiennent à diverses catégories d'incompatibilité, parmi celles que nous avons définies en section 5.2.1 (tableau 26). Le tableau suivant en fait la liste. Il montre aussi que parfois, une information concernant une interface est communiquée d'un groupe à l'autre, comprise et acceptée mais n'est finalement pas respectée sur le dessin.

Tableau 26 : Incompatibilités pas évoquées ou prévues mais pas respectées, et finalement dessinées sur la feuille de calque

Incompatibilité pas évoquée dans les communications et solutions dessinées incompatibles aux interfaces	**8 sur 14**	Écart de position des surfaces de contact	**3 sur 14**
		Interférence cinématique (collision)	**2 sur 14**
		Interférence de position	**2 sur 14**
		Interférence de montage	**1 sur 14**
		Écart de dimension des surfaces de contact	**1 sur 14**
Incompatibilité prévue dans les communications mais l'information communiquée n'a pas été respectée et solutions dessinées sont incompatibles aux interfaces	**4 sur 14**	Écart de position des surfaces de contact	**2 sur 14**
		Interférence de montage	**1 sur 14**
		Interférence de position	**2 sur 14**
		Écart de dimension des surfaces de contact	**1 sur 14**
		Interface pas dessinée	**1 sur 14**

Il semble donc que, dans au total 10 unités de travail sur 14, les étudiants ne se soient pas appropriés les incompatibilités aux interfaces, comme des modes de défaillances possibles. Cela les conduit à omettre l'existence des sous-structures du groupe jumelé. L'hypothèse H2 est donc validée pour 10 unités de travail sur 14. L'explication ne se trouve peut-être pas seulement dans le fait que le dessin de la sous-structure conçue par le groupe jumelé ne figure pas sur la feuille de calque. On peut considérer que les incompatibilités aux interfaces sont un type de mode de défaillance à connaître au même titre que d'autres. C'est une connaissance à avoir pour faire de la conception distribuée.

Notons toutefois que les collisions et les interférences de montage entre une pièce dessinée par un groupe et une autre dessinée par le groupe jumelée, peuvent aussi être imputées à la difficultés des étudiants à utiliser le plan d'ensemble pour anticiper ces deux modes de défaillance, comme nous l'avons montré au sujet de la tâche n°2.

6.4. Difficultés de communication

Nous avons formulé deux hypothèses de sources de difficultés concernant la communication entre deux groupes jumelés. La première, H3, a trait au langage utilisé pour communiquer. La deuxième, H4, à l'utilisation des outils de communication.

6.4.1. L'utilisation d'un langage équivoque conduit au dessin de solutions techniques incompatibles

L'hypothèse H3 prévoyait : « H3 (IV-4.2.1) : L'hétérogénéité des groupes, en ce qui concerne la maîtrise du vocabulaire technique et la maîtrise des graphismes techniques, est une source de difficultés pour une communication efficace entre les groupes. Cette difficulté pourrait donc, selon nous, se traduire par des explications fastidieuses pour les élèves qui n'ont pas eu de formation technologique préalable, et par des incompréhensions de la part de ceux-ci lors d'explications techniques faites par les

étudiants qui ont eu une formation technologique préalable ». Cette hypothèse est-elle vérifiée ?

Pour 4 unités de travail (sur 14), nous avons observé une mauvaise interprétation d'une information communiquée par le groupe jumelé. Selon les groupes, elles portent soit sur des mots qualifiant la surface d'une pièce (« face extérieure du roulement » dans un message électronique de AB4, « à 86 du bord » dans le discours de EF2 en visioconférence), soit sur le signe de coordonnées, dans un repère orthogonal défini par les étudiants (CD4 et EF1, dans un message électronique). Dans tous les cas il s'agit de définir une position, et cela a conduit au dessin de solutions incompatibles. Un vocabulaire technique précis et univoque, utilisé systématiquement pour désigner des solutions techniques, aurait aidé les étudiants des unités de travail AB4 et EF2 à bien interpréter les informations communiquées par le groupe jumelé. C'est donc un manque de savoir-faire en communication de descriptions de solutions techniques qui est ici la source de ces difficultés des étudiants.

On peut aussi se demander si ces problèmes d'interprétation ne sont pas liés à des difficultés d'utilisation des outils de communication. En effet, l'utilisation par AB4, CD4 et EF1 de la messagerie électronique pour définir une position n'est pas vraiment appropriée. Par ailleurs, F2 aurait pu contrôler, par caméras interposées, que la retranscription des cotes par E2 était correcte. Le paragraphe suivant développe les difficultés d'utilisation des outils de communication à distance.

6.4.2. Les outils de communication ne sont pas utilisés de manière efficace

Nous avons observé trois difficultés d'utilisation des outils de communication à distance.

La première valide l'hypothèse H4 pour deux unités de travail sur 14. Cette hypothèse prévoyait : « H4 (IV-4.2.2) : En supposant que le poste de visioconférence est un outil jamais utilisé auparavant par les étudiants pour communiquer des données géométriques, ni aucun autre outil dont ils auraient pu adapter les schèmes, nous faisons l'hypothèse qu'ils n'ont pas construits les schèmes d'actions instrumentées correspondants. En particulier celui qui permet de contrôler la bonne prise de notes en visioconférence ». Et, en effet, deux groupes ont mal recopié un dessin montré en visioconférence par leur groupe jumelé. Les étudiants de leur groupe jumelé n'ont pas contrôlé leur prise de note, alors que le banc-titre le permet. Elle concerne les unités de travail EF2 et CD2. Nous pensons que cette difficulté est due à l'absence des schèmes d'usage qui intègrent le contrôle des notes prises par le groupe distant dans la communication visuelle par le banc-titre.

La deuxième difficulté observée est l'utilisation non appropriée de la messagerie électronique pour communiquer des données géométriques. Nous l'avons dit, elle concerne AB4, CD4 et EF1. Il semble que, contrairement à ce que nous avions prévu en section 4.2.2, les étudiants de ces unités de travail n'aient pas construit les schèmes

d'action instrumentée de la visioconférence qui leur permettraient d'utiliser systématiquement la visioconférence dans l'action de communication d'une donnée géométrique.

La troisième difficulté se traduit par un déréglage de la caméra du banc-titre et l'incapacité à la régler à nouveau. Elle concerne EF1. Elle peut être expliquée par un défaut de schème d'usage du banc-titre.

7. Bilan et discussion

7.1. Bilan des difficultés

La figure ci-dessous présente le bilan des sources de difficultés observées, et qui ont eu des conséquences sur la production ou/et la méthode mise en œuvre par les étudiants pour concevoir les interfaces entre les sous-structures conçues par un groupe et celles conçues par le groupe jumelé.

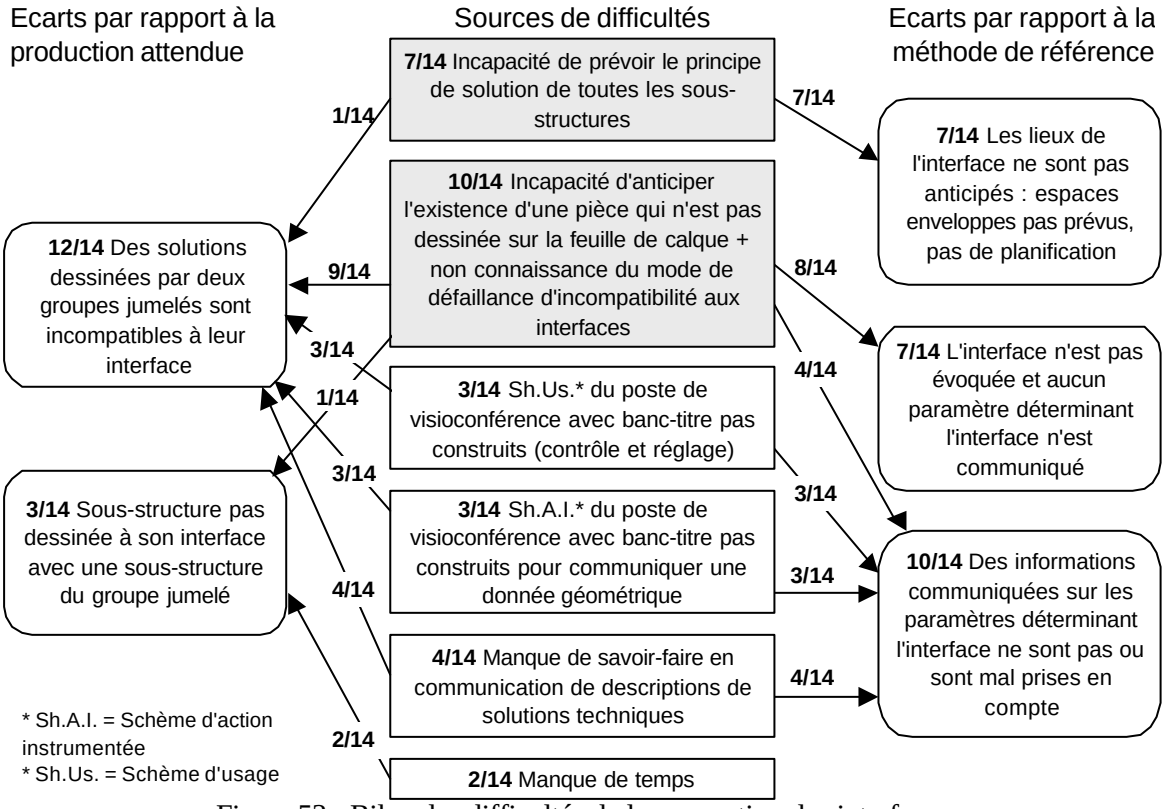


Figure 53 : Bilan des difficultés de la conception des interfaces

7.2. Le concept d'interface et le mode de défaillance « incompatibilité à l'interface »

Les résultats montrent que la difficulté la plus fréquente est la difficulté de prendre en compte, lors de la conception locale des sous-structures, l'existence des pièces conçues par le groupe jumelé. Un résultat marquant est que les étudiants aient dessiné des sous-structures en faisant des choix, chacun de leur côté, sur les paramètres déterminant l'interface, sans jamais les communiquer au groupe jumelé.

Il semble que les étudiants agissent comme s'ils devaient concevoir une sous-structure d'une machine, mais seuls, comme dans les travaux pratiques de bureau d'études mécaniques « classiques » où il n'y a pas de distribution des tâches de conception. La différence par rapport à ces travaux pratiques, c'est que les frontières de cette sous-structure ne sont pas entièrement déterminées, lorsqu'elles sont à l'interface. Mais cela ne les empêche pas de prendre des décisions pour les déterminer, et sans prévenir le groupe jumelé. Chaque étudiant ne se sent pas investi de la responsabilité du bon fonctionnement de l'ensemble de la machine.

Du point de vue des apprentissages, les étudiants semblent n'avoir pas construit le concept d'interface de manière opératoire et les incompatibilités à l'interface ne sont pas considérées comme des modes de défaillance possibles des sous-structures dont ils ont la responsabilité.

Michaël Huchette – 2002

Synthèse et perspectives

En introduction de ce mémoire, nous avons avancé deux enjeux de notre thèse : la définition des conditions d'apprentissage dans les nouveaux travaux pratiques de bureau d'études mécaniques et la proposition d'outils d'aide au diagnostic des difficultés des étudiants, pour les enseignants dans ces dispositifs. Qu'apporte notre travail pour répondre à ces enjeux ?

D'abord, nos résultats empiriques permettent de définir des conditions d'apprentissage concernant trois objectifs de formation de concepteurs de produits industriels.

1. Dans la perspective de former à proposer des solutions techniques par réinvestissement de solutions existantes, la capacité en jeu est la capacité de « particulariser », c'est-à-dire proposer une solution technique adaptée à un milieu de fonctionnement particulier (Cartonnet, 2002). Or nos observations montrent qu'environ les deux tiers des groupes d'étudiants dessinent des solutions défaillantes sans jamais avoir évoqué la possibilité de ces modes de défaillance. De plus, plus de la moitié des groupes n'ont pas consulté les bases de solutions industrielles pour proposer. Ils n'ont pas cherché à effectuer des associations milieu-produits. Pour palier à ce manque, nous proposons l'activité pédagogique d'analyse comparative de l'adaptation particulière de plusieurs produits existants à leur milieu de fonctionnement. L'intérêt pour de telles activités avait déjà été relevé par Matray (1951) et Chabal (1973), et nous retrouvons cela, car nos résultats montrent que cette capacité de particulariser n'est pas formée.

2. L'utilisation croissante des systèmes informatiques de gestion de données techniques dans les entreprises pose le problème de la formation à l'utilisation des bases de données techniques, et des outils d'aide à l'accès aux informations qu'elles contiennent. Les futurs concepteurs doivent être capables de générer des mots-clefs dans les moteurs de recherche. Or nous avons montré que plus de la moitié des groupes ne trouvaient pas toutes les informations qu'ils cherchaient dans la base de données hypertexte. Et aucun étudiant n'a utilisé le moteur de recherche par mot-clef du logiciel de navigation. Nous pensons que la formation de cette capacité à générer des mots-clés passe par l'apprentissage de la notion de performance. En effet, la notion de performance, « ce que l'utilisateur est en droit d'attendre du

produit », permet de formuler des critères de recherche pour effectuer une veille technologique et trouver des produits adaptés à un milieu de fonctionnement visé.

3. Enfin, la pratique de la sous-traitance de la conception en entreprise pose le problème de la formation à la conception distribuée. Or nos observations ont montré que 3/4 des groupes d'étudiants ont dessiné des sous-structures de la machine incompatibles avec celles dessinées par leur groupe jumelé. Et pour un tiers des erreurs de compatibilité, les étudiants ont dessiné leurs sous-structures sans rien communiquer au groupe jumelé au sujet des décisions qui concernaient aussi les sous-structures de ce groupe, comme s'ils travaillaient seuls. Trois outils d'aide à la conception coordonnée de sous-structures compatibles issues des pratiques professionnelles pourraient être enseignés. Premièrement la notion d'interface, avec la typologie que nous en avons faite au chapitre IV, section 2.2, permet d'identifier les paramètres déterminants à définir pour rendre compatible deux sous-structures conçues par deux concepteurs différents. Deuxièmement, le concept « d'espace enveloppe », espace réservé à une sous-structure a priori, et troisièmement, la planification de la conception des sous-structures en fonction des besoins d'informations aux interfaces entre celles-ci, permettent de coordonner la conception de plusieurs sous-structures d'une machine.

Ensuite, pour répondre au deuxième enjeu, nous avons voulu proposer un outil pour aider les enseignants à diagnostiquer les difficultés rencontrées par les étudiants, lorsqu'ils effectuent les nouvelles tâches de travaux pratiques de conception. Lorsque nous avons cherché à caractériser les difficultés des étudiants, nous avons construit et utilisé un premier niveau de descripteurs, observables par l'enseignant au cours d'une séance pédagogique : la production des étudiants et la méthode qu'ils mettent en œuvre, et leurs écarts par rapport à la production attendue et la méthode de référence. Un deuxième niveau de descripteurs, à un degré plus détaillé d'analyse et de recoupements d'observations, a permis par ailleurs de valider ou d'infirmer nos hypothèses de sources de difficultés. Ainsi, le bilan des difficultés observées peut se mettre sous la forme d'une représentation où apparaissent l'influence de sources de difficultés observées sur la production et la méthode des étudiants. Nous appelons cette représentation «schéma de diagnostic ». C'est un outil qui, à partir de l'observation de la production et de la méthode des étudiants, au cours d'un travail pratique de conception, permet de faire des hypothèses réalistes sur les sources de difficultés.

Nos résultats empiriques nous ont permis de construire trois schémas de diagnostic, correspondant à trois tâches particulières :

1. la recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte ;
2. la conception collective (à deux ou trois) d'une sous-structure de la machine ;
3. la conception des interfaces entre deux sous-structures conçues à distance par deux groupes jumelés.

Nous les donnons ci-après.

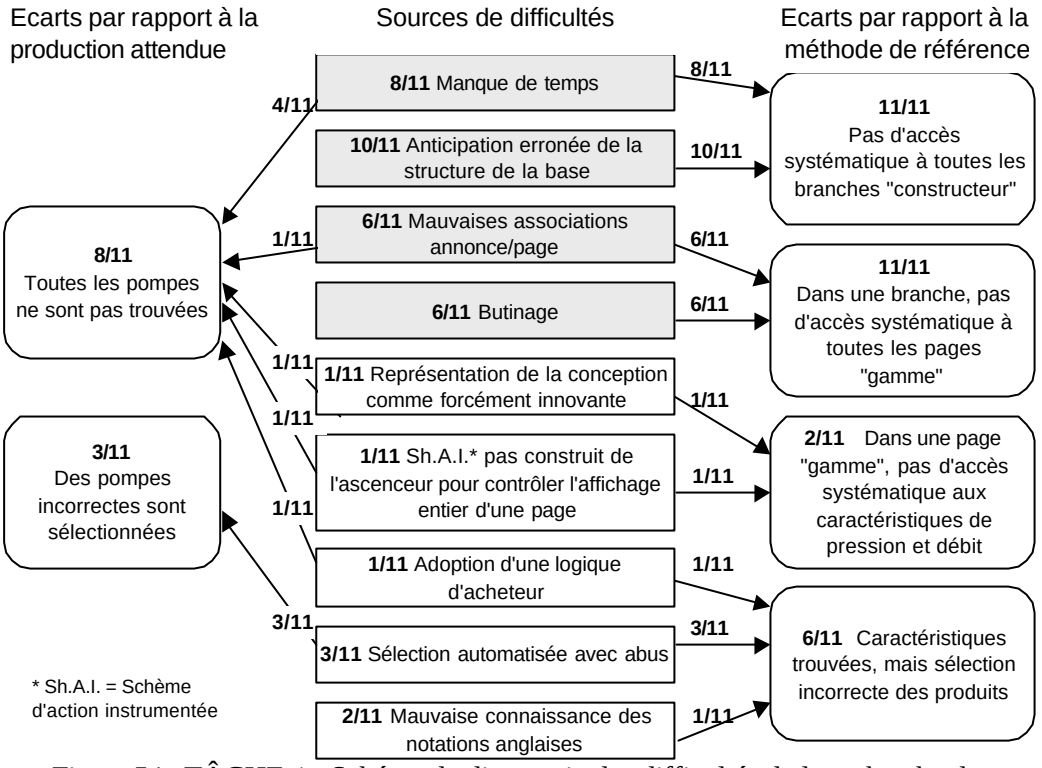


Figure 54 : TÂCHE 1 : Schéma de diagnostic des difficultés de la recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte

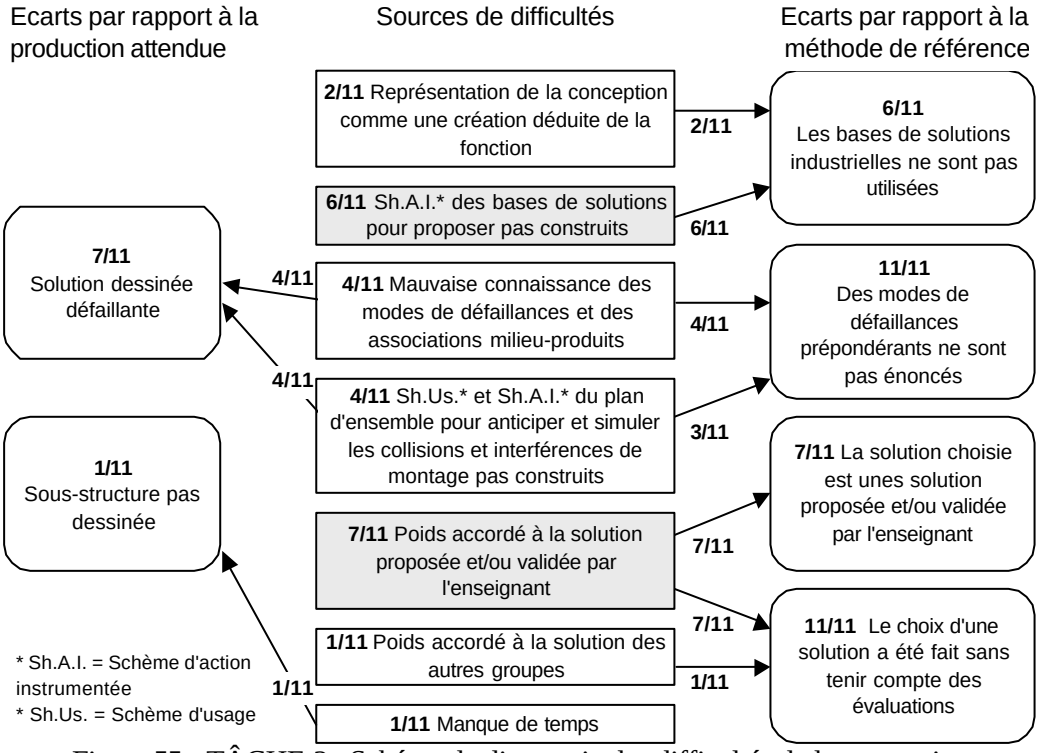


Figure 55 : TÂCHE 2 : Schéma de diagnostic des difficultés de la conception collective d'une sous-structure de la machine

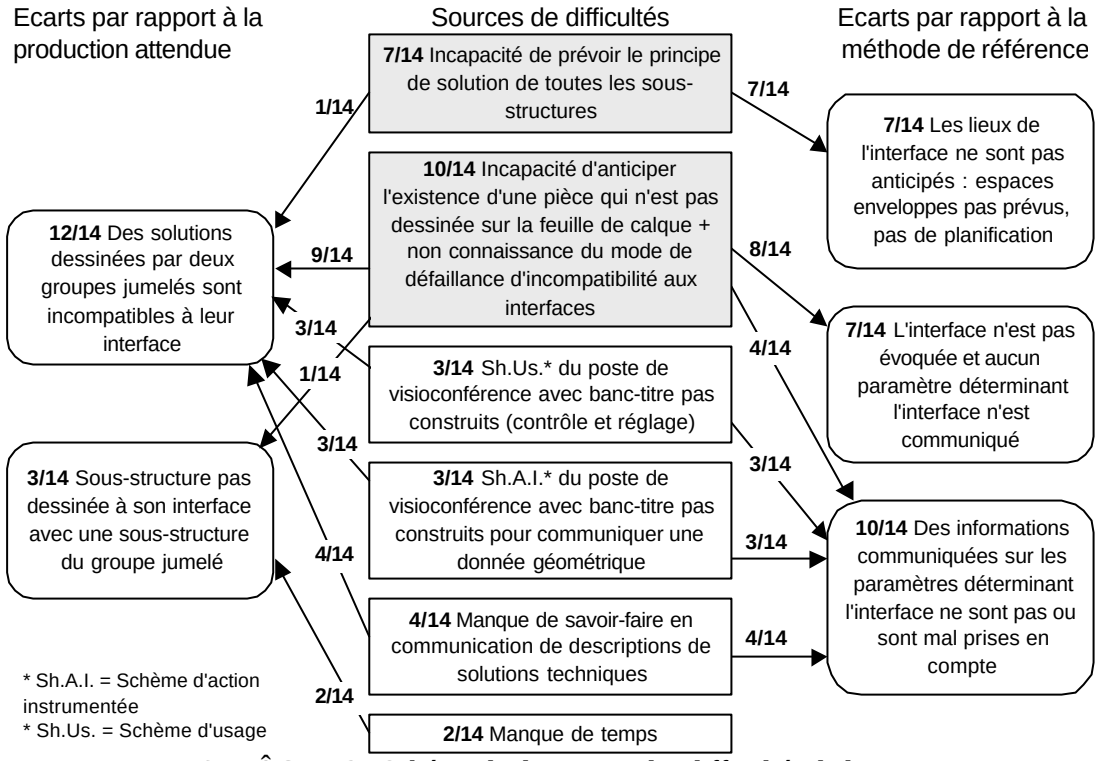


Figure 56 : TÂCHE 3 : Schéma de diagnostic des difficultés de la conception des interfaces

Pour conclure, nous proposons deux perspectives de prolongement de notre travail de recherche.

Premièrement, nous nous sommes intéressé à un type de travail collectif : la conception distribuée. Mais nous avons montré que le modèle de l'ingénierie concourante, modèle d'organisation en croissance dans les entreprises industrielles, impose aussi aux concepteurs des collaborations étroites avec les spécialistes d'autres métiers, dans les activités de conception. Pour former à cette capacité à la conception concourante, on pourrait imaginer des formations où interviendraient des élèves ingénieurs ou des sections de techniciens supérieurs de diverses spécialités, comme par exemple des spécialistes de la conception, des spécialistes de la fabrication et des spécialistes de la maintenance. Sur quels principes peut-on construire de tels dispositifs de formation ? Quelles y seraient les difficultés des étudiants ?

Deuxièmement, l'utilisation, dans les travaux pratiques de conception, de bases de données ouvertes (contenant une très grande quantité d'informations) pose un problème de formation des enseignants. En effet, quelle compétence un enseignant doit-il avoir pour gérer le fait que des étudiants exploitent des informations issues d'une base de données techniques, alors que l'enseignant ne connaît pas ces informations ?

Bibliographie

ASTER (1988). Modèles et modélisation, *n°7*. Paris : INRP.

Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*. Paris : De Boeck.

Barbier, J.-M. (1998). Introduction. In J.-M., Barbier (Dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 1-18). Paris : PUF.

Béguin, P. (1994). *Travailler avec la CAO en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments.* Thèse de doctorat : CNAM.

Bendib, Z. & Weil-Fassina, A. (1987). Le rôle du dessin dans une tâche de montage mécanique. In P., Rabardel et A., Weil-Fassina, *Le dessin technique* (pp. 219-226). Paris : Hermes.

Bossard, P., Chanchevrier, C. & Leclair, P. (Dir.) (1997). *Ingénierie concourante : de la technique au social*. Paris : Economica.

Bouffartigue, P. (1994). *De l'école au monde du travail : la socialisation des jeunes ingénieurs et techniciens*. Paris : L'Harmattan.

Cahour, M. (2001). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception industrielle. In F., Darses (Coord.), *Modéliser les activités coopératives de conception*. Actes du 10ème atelier du Travail Humain, 27-28 juin 2001 : Paris.

Cartonnet, Y. & Clotilde, B. (1998). Le modèle Pystile : Des concepts pour penser les contenus et leurs modes d'enseignement en STI. *Technologies et formations, 76*, 12-14.

Cartonnet, Y. & Durey, A. (1996). Une assistance multimédia interactive pour les séances de travaux pratiques ? Evaluation. *Sciences et techniques éducatives, 3(4).*

Cartonnet, Y. & Martinand, J.-L. (2000). Comment caractériser la valeur préprofessionnalisante des formations technologiques ? In *Actes du colloque "professionnalisation des cadres d'entreprise", Toulouse, 15-16 mars 2000.*

Cartonnet, Y. & Poitou J.-P. (1996). Compréhension des relations spatiales et cinématiques dans les dessins techniques : influence du mode graphique et de l'expérience. *Le Travail Humain, 59(2)*, 113-135.

Cartonnet, Y. (1992). *Recherche expérimentale sur les relations entre la vision stéréoscopique et les activités cognitives de conception en bureau d'études mécaniques : préalable à la CAO en relief.* Thèse de doctorat : université de Provence, éditions de l'université de Lille.

Cartonnet, Y. (1999). Apprentissage de schèmes d'action instrumentée ; comparaison de populations d'étudiants et de type de médiation. *Aster, 28*, 149-165.

Cartonnet, Y. (2000a). *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches : Université Paris Sud.

Cartonnet, Y. (2000b). Analyse de l'offre éditoriale en technologie de la construction mécanique relativement à la formation à la gestion des risques. In A., Giordan, J.-L. Martinand et D., Raichvarg (Eds), *L'éducation aux risques : santé, sécurité, environnement, Actes JIES XXII, 20-24 mars 2000, Chamonix* (pp. 459-464).

Cartonnet, Y. (2002). L'idée de technicité pour guider l'élaboration des activités pédagogiques en formation d'ingénieurs. In *Actes du colloque IDMME 2002, Clermont-Ferrand.*

Cartonnet, Y., Douchin, B., Gravouil, A., Huchette, M., Marquis, D., Savattero, E., Soulier, B. (1999). Contribution à l'enseignement de la conception distribuée : le projet Codimi et son analyse didactique. *In Actes du 6ème colloque PRIMECA sur la Conception Mécanique Intégrée, La Plagne* (pp. 157-163).

Chabal, J ., De Prester, R., Sclafer, J., Ducel, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique.* Paris : Foucher.

CEFI (1998). Le métier d'ingénieur : Titre et statut de l'ingénieur diplômé. In *Le petit Bouchon : guide pratique des écoles d'ingénieur.*

Cerratto, T. (2000). Analyse instrumentale des transformations dans l'écriture collaborative, suite à l'utilisation d'un collecticiel. In *Actes du colloque IC'2000, « Ingénierie des connaissances », Toulouse, mai 2000.*

Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir : éléments pour une théorie.* Paris : Anthropos.

Conférence des grandes écoles (1999). Annuaire des grandes écoles : 1999-2000. *La Lettre de la Conférence des grandes écoles, numéro spécial.*

Cros, F. (1998). L'innovation en éducation et en formation : vers la construction d'un objet de recherche ? *Éducation permanente, 134.*

Darses, F. (1994). *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. Thèse de doctorat : Université Paris 8.

Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleur adéquation avec les processus cognitifs de conception. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 39-55). Paris : Economica.

Darses, F. (1999). Intégration des points de vue en conception collective. In *Actes du colloque PRIMECA, octobre 1999.*

Darses, F. (2001). Converger vers une solution en situation coopérative de conception : analyse cognitive du processus d'argumentation. In F., Darses (Ed.), *Modéliser les activités les activités coopératives de conception, Actes du 10ème Atelier du Travail Humain, 27-28 juin 2001, Paris* (tiré-à-part).

De Terssac, G. & Friedberg, E. (Dir.) (1996). *Coopération et conception*. Toulouse : Octares Editions.

De Terssac, G. & Maggi, B. (1996). Autonomie et conception. In G., De Terssac et E, Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 243-266). Toulouse : Octares Editions.

Doulin, J. (1996). *Analyse comparative des difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes techniques en classe de seconde : option TSA.* Thèse de doctorat : Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique*. Paris : Peter Lang.

Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'enseignement et la formation, Rapport de Contrat de recherche entre l'univ Paris 7 et l'IUFM de Versailles.*

Erschler, J. (1996). Approche par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération : une nouvelle logique d'utilisation des modèles formels. In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 137-148). Toulouse : Octares Editions.

Falzon, P. (1989). *Ergonomie cognitive du dialogue*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

Foss, C.L. (1989). *Detecting lost users : empirical studies on browsing hypertext.* Rapport de recherche n°972 : INRIA.

Foulon-Molenda, S. (2000). A-t-on besoin de se voir pour coopérer ? Contribution théorique issue de la psycholinguistique. *Le Travail Humain, 63(2),* 97-120.

Gahlouz, M. (1994). *Eléments de conception de contenus relatifs à la modélisation dans les pratiques de construction : le cas du dimensionnement d'éléments structuraux dans les référentiels de BEP "construction-topographie"*. Thèse de doctorat : université Paris 7.

Géminard, L. (1970). *Logique et technologie*. Paris : Dunod.

Gollac, M., Greeman, N. & Hamon-Cholet, S. (2000). L'informatisation de l'"ancienne" économie : nouvelles machines, nouvelles organisations et nouveaux travailleurs. *Economie et statistique, 339-340,* 171-201.

Guézel, J.-C. (1998). Les compétences augmentent, pas les rémunérations. *Industries et techniques, hors série, octobre 1998*, 8-12.

Hatchuel, A. (1994). Apprentissages collectifs et activités de conception. *Revue française de gestion, juin-juillet-août 1994*, 109-120.

Hatchuel, A. (1996). Coopération et conception collective : Variété et crise des rapports de prescription. In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 101-122). Toulouse : Octares Editions.

INSEE (2000). *Annuaire statistique de la France : 2000, résultats de 1998*. Paris : INSEE.

Jeantet, A., Tiger, H., Vinck, D. & Tichkiewitch, S. (1996). In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 87-100). Toulouse : Octares Editions.

Laborde, C. & Vergnaud, G. (1994). L'apprentissage et l'enseignement des mathématiques. In G., Vergnaud (Coord.), *Apprentissages et didactiques, où en est-on ?* (pp. 63-98). Paris : Hachette.

Laureillard, P. & Vinck, D. (1999). Les représentations graphiques : Leur rôle dans la coopération entre métiers. In D., Vinck (Dir.), *Ingénieurs au quotidien : Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation* (pp. 65-179). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

Lebahar, J.-C. (1992). Quelques formes de planification significatives de l'activité de conception en Design industriel. *Le Travail Humain, 55(4).*

Lebahar, J.-C. (1996). L'activité de simulation d'un dessinateur CAO dans une tâche de conception. *Le travail Humain, 59(3),* 253-255.

Lebahar, J.-C. (1997). La simulation, instrument de représentation et de régulation dans la conception de produits. In P., Béguin et A., Weill-Fassina (coord.), *La simulation : connaître, agir et interagir* (pp. 77-96). Toulouse : Octares Ed.

Leclair, P. & Luzi, F. (1997). Le problème de l'intercompréhension des savoirs dans l'ingénierie concourante. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 89-100). Paris : Economica.

Lenoir, Y. (1996). Médiation cognitive et médiation didactique. In C., Raisky et M., Caillot (Eds), *Au delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles : De Boeck.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique.* Paris : PUF, coll. le Travail Humain.

Léveiller-Routault, A. (2000). *Objectivation des stratégies de conception en classe de seconde par actigrammes*. Rapport de stage tutoré de DEA : LIREST - ENS de Cachan.

Luzi, F. (1997). La prise en compte des fabricants dans le projet : La démarche socio-technique chez Renault. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 59-76). Paris : Economica.

Martinand, J.-L. (1985). Sciences, techniques, culture et profession. In A., Giordan, J.-L. Martinand et D., Raichvarg (Eds), *Éducation scientifique et formation professionnelle, Actes JIES VII, Chamonix* (pp. 27-35).

Martinand, J.-L. (1989). Questions actuelles de la didactique des sciences. In A. Giordan et al., *Psychologie génétique et didactique des sciences.* Bern : Peter Lang.

Martinand, J.-L., Astolfi, J.-P., Chomat, A., Drouin, A.-M., Genzling, J.-C., Larcher, C., Lemeignan, G., Méheut, M., Rumelhard, G. & Weil-Barais, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

Matray, F. (1952). *Pédagogie de l'enseignement technique*. Paris : PUF, coll. Nouvelle encyclopédie pédagogique.

Meirieu, P. (2000a). *Itinéraire des pédagogies de groupe : Apprendre en groupe - 1*. Lyon : Chroniques sociales. (7ème édition).

Meirieu, P. (2000b). *Outils pour apprendre en groupe : Apprendre en groupe - 2*. Lyon : Chroniques sociales. (7ème édition).

Midler, C. (1993). *L'auto qui n'existait pas : Management des projets et transformation de l'entreprise*. Paris : InterEditions.

Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (1997). *Les formations universitaires sciences et technologies : 1996-1997.*

Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (1998). *La formation initiale des ingénieurs en France : 1996-1997*.

Moisdon, J.-C. & Weil, B. (1992). L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales . *Gérer et comprendre, 28 et 29,* 30-41 et 50-58.

Navarro, C. (2001). Partage de l'information en situation de coopération à distance et nouvelles technologies de la communication : bilan des recherches récentes. *Le Travail Humain, 64(4),* 297-319.

Nicquevert, B. (2000). Ressources, contraintes et difficultés dans les pratiques de conception d'un grand projet scientifique. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, LIREST, 1999-2000.*

Pagès, R. (1995). Communication : Les processus de la communication. *Encyclopaedia Universalis France S.A.*

Pahl, G. & Beitz, W. (1996). *Engineering Design : a systematic Approach*. Londres : Springer, traduction anglaise. (2e édition de la traduction anglaise)

Parrochia, D. (1998). *La conception technologique*. Paris : Hermès.

Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action. *Éducation permanente, 139,* 13-35.

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.

Pléty, R. (1996). *L'apprentissage coopérant*. Lyon : ARCI, presse universitaire de Lyon.

Prevéraud, J.-F. (1998). La CAO 3D dans deux bureaux d'études sur trois. *Industries et techniques, hors série, octobre 1998,* 14-15.

Prudhomme, G. & Brissaud, D. (2000). Organisation de la conception de systèmes mécaniques : évolutions et ruptures. *The Romanian review of fine méchanics and Optics, 17, Bucarest.*

Prudhomme, G. (1999). *Le processus de conception des systèmes mécaniques et son enseignement : La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique*. Thèse de doctorat : université Grenoble 1.

Prudhomme, G. (2000). Le processus de conception des systèmes mécaniques et son enseignement : La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, 1999-2000, LIREST.*

Quarteroni, P. (1996). *Cognitivité et enseignement assisté par ordinateur : une approche par et pour la gestion de projet.* Thèse de doctorat : université Aix-Marseille 3.

Rabardel, P. & Vérillon, P. (1985). Relations aux objets et développement cognitif. In *Actes des 7èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique, Chamonix.*

Rabardel, P. & Vérillon, P. (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique : réflexions pour un cadre d'analyse. In P., Rabardel et A., Weil-Fassina, *Le dessin technique* (pp. 209-217). Paris : Hermes.

Rabardel, P. & Weill-Fassina, A. (1987). *Le dessin technique.* Paris : Hermes.

Rabardel, P. (1980). *Contibution à la lecture du dessin technique.* Thèse de doctorat : INRP-HESS Paris.

Rabardel, P. (1993). Micro-genèse et fonctionnalité des représentations dans une activité avec instrument. In A., Weil-Fassina, P., Rabardel et D., Dubois, *Représentations pour l'action* (pp. 113-137). Toulouse : Octares.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains.* Paris : Armand Colin.

Rhéaume, J. (1993). Les hypertextes et les hypermédias. *Educatechnologies, 1(2),* www.fse.ulaval.ca/fac/ten/reveduc.

Roth, K. (1982). *Konstruieren mit Konstructionkatalogen*. Berlin : Springer.

Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1995). Recherche d'informations dans les systèmes hypertextes : des représentations de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. *Sciences et techniques éducatives, 2(3),* 307-331.

Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. In J.-F. Rouet et A. Tricot (Eds), *Les hypermédias*. Paris : Hermes.

Simondon, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier, Eds. Montaigne.

Tricot, A., Pierre-Demarcy, C. & El Boussarghini, R. (1998). Un panorama des recherches sur l'activité mentale de l'utilisateur d'un hypermédia. *Sciences et techniques éducatives, 5(4),* 371-400.

Veillard, L. (2000). *Rôle des situations professionnelles dans la formation par alternance : Cas des élèves-ingénieurs de production de l'ISTP de Saint-Etienne*. Thèse de doctorat : université Lyon 2.

Vergnaud, G. (1998). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M., Barbier (Dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 275-292). Paris : PUF.

Visser, W. (1993). *Raisonnement basé sur des cas : une thématique transversale en psychologie et en ergonomie cognitive.* Rapport interne LAFORIA n°93/42. Paris : Institut Blaise Pascal, LAFORIA, Décembre 1993.

Visser, W. (1999). Etude en ergonomie cognitive sur la réutilisation en conception : quelles leçons pour le raisonnement à partir de cas ? *Revue d'intelligence artificielle, 13(52),* 129-154.

Weil-Barais, A. (Dir.) (1998). *L'homme cognitif*. Paris : PUF.

Weil-Fassina, A., Rabardel, P. & Dubois, D. (1993). *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octares.

Welch, M. (1999). Student's Use of Three-Dimensional Modelling While Designing and Making a Solution to a Technological Problem. *International Journal of Technology and Design Education, 9(3),* 241-260.

Zaïd, K. (2001). *Objectivation de la planification des élèves en licence de technologie mécanique d'une tâche de conception.* Rapport de stage tutoré de DEA : LIREST - ENS de Cachan.

Bibliographie classée

1. Références sur les pratiques professionnelles de conception (témoignages, statistiques, gestion)

Bossard, P., Chanchevrier, C. & Leclair, P. (Dir.) (1997). *Ingénierie concourante : de la technique au social*. Paris : Economica.

CEFI (1998). Le métier d'ingénieur : Titre et statut de l'ingénieur diplômé. In *Le petit Bouchon : guide pratique des écoles d'ingénieur.*

Conférence des grandes écoles (1999). Annuaire des grandes écoles : 1999-2000. *La Lettre de la Conférence des grandes écoles, numéro spécial.*

De Terssac, G. & Friedberg, E. (Dir.) (1996). *Coopération et conception*. Toulouse : Octares Editions.

De Terssac, G. & Maggi, B. (1996). Autonomie et conception. In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 243-266). Toulouse : Octares Editions.

Erschler, J. (1996). Approche par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération : une nouvelle logique d'utilisation des modèles formels. In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 137-148). Toulouse : Octares Editions.

Gollac, M., Greeman, N. & Hamon-Cholet, S. (2000). L'informatisation de l'"ancienne" économie : nouvelles machines, nouvelles organisations et nouveaux travailleurs. *Economie et statistique, 339-340*, 171-201.

Guézel, J.-C. (1998). Les compétences augmentent, pas les rémunérations. *Industries et techniques, hors série, octobre 1998*, 8-12.

Hatchuel, A. (1994). Apprentissages collectifs et activités de conception. *Revue française de gestion, juin-juillet-août 1994*, 109-120.

Hatchuel, A. (1996). Coopération et conception collective : Variété et crise des rapports de prescription. In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 101-122). Toulouse : Octares Editions.

INSEE (2000). *Annuaire statistique de la France : 2000, résultats de 1998*. Paris : INSEE.

Laureillard, P. & Vinck, D. (1999). Les représentations graphiques : Leur rôle dans la coopération entre métiers. In D., Vinck (Dir.), *Ingénieurs au quotidien :*

Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation (pp. 65-179). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

Leclair, P. & Luzi, F. (1997). Le problème de l'intercompréhension des savoirs dans l'ingénierie concourante. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 89-100). Paris : Economica.

Luzi, F. (1997). La prise en compte des fabricants dans le projet : La démarche socio-technique chez Renault. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 59-76). Paris : Economica.

Midler, C. (1993). *L'auto qui n'existait pas : Management des projets et transformation de l'entreprise*. Paris : InterEditions.

Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (1997). *Les formations universitaires sciences et technologies : 1996-1997.*

Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (1998). *La formation initiale des ingénieurs en France : 1996-1997*.

Moisdon, J.-C. & Weil, B. (1992). L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales . *Gérer et comprendre, 28 et 29*, 30-41 et 50-58.

Nicquevert, B. (2000). Ressources, contraintes et difficultés dans les pratiques de conception d'un grand projet scientifique. *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, LIREST, 1999-2000.*

Prevéraud, J.-F. (1998). La CAO 3D dans deux bureaux d'études sur trois. *Industries et techniques, hors série, octobre 1998*, 14-15.

Prudhomme, G. & Brissaud, D. (2000). Organisation de la conception de systèmes mécaniques : évolutions et ruptures. *The Romanian review of fine méchanics and Optics, 17, Bucarest.*

2. Références épistémologiques et philosophiques

Géminard, L. (1970). *Logique et technologie*. Paris : Dunod.

Pahl, G. & Beitz, W. (1996). *Engineering Design : a systematic Approach*. Londres : Springer, traduction anglaise. (2e édition de la traduction anglaise)

Parrochia, D. (1998). *La conception technologique*. Paris : Hermès.

Roth, K. (1982). *Konstruieren mit Konstructionkatalogen*. Berlin : Springer.

Simondon, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier, Eds. Montaigne.

3. Références psychologiques, ergonomiques et sociologiques

Béguin, P. (1994). *Travailler avec la CAO en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments.* Thèse de doctorat : CNAM.

Bendib, Z. & Weil-Fassina, A. (1987). Le rôle du dessin dans une tâche de montage mécanique. In P., Rabardel et A., Weil-Fassina, *Le dessin technique* (pp. 219-226). Paris : Hermes.

Cahour, M. (2001). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception industrielle. In F., Darses (Coord.), *Modéliser les activités coopératives de conception. Actes du 10ème atelier du Travail Humain, Paris, 27-28 juin 2001.*

Cartonnet, Y. & Poitou J.-P. (1996). Compréhension des relations spatiales et cinématiques dans les dessins techniques : influence du mode graphique et de l'expérience. *Le Travail Humain, 59(2),* 113-135.

Cartonnet, Y. (1992). *Recherche expérimentale sur les relations entre la vision stéréoscopique et les activités cognitives de conception en bureau d'études mécaniques : préalable à la CAO en relief.* Thèse de doctorat : université de Provence, éditions de l'université de Lille.

Cerratto, T. (2000). Analyse instrumentale des transformations dans l'écriture collaborative, suite à l'utilisation d'un collecticiel. In *Actes du colloque IC'2000, Ingénierie des connaissances, Toulouse, mai 2000.*

Darses, F. (1994). *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. Thèse de doctorat : Université Paris 8.

Darses, F. (1997). L'ingénierie concourante : un modèle en meilleur adéquation avec les processus cognitifs de conception. In P., Bossard, C., Chanchevrier, et P., Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 39-55). Paris : Economica.

Darses, F. (1999). *Intégration des points de vue en conception collective, Actes du colloque PRIMECA, octobre 1999.*

Darses, F. (2001). Converger vers une solution en situation coopérative de conception : analyse cognitive du processus d'argumentation. In F., Darses (Ed.), *Modéliser les activités les activités coopératives de conception, Actes du 10ème Atelier du Travail Humain, Paris, 27-28 juin 2001* (tiré-à-part).

Falzon, P. (1989). *Ergonomie cognitive du dialogue.* Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

Foss, C.L. (1989). *Detecting lost users : empirical studies on browsing hypertext. Rapport de recherche n°972 : INRIA.*

Foulon-Molenda, S. (2000). A-t-on besoin de se voir pour coopérer ? Contribution théorique issue de la psycholinguistique. *Le Travail Humain, 63(2),* 97-120.

Jeantet, A., Tiger, H., Vinck, D. & Tichkiewitch, S. (1996). In G., De Terssac et E., Friedberg, (Dir.), *Coopération et conception* (pp. 87-100). Toulouse : Octares Editions.

Lebahar, J.-C. (1992). Quelques formes de planification significatives de l'activité de conception en Design industriel. *Le Travail Humain, 55(4).*

Lebahar, J.-C. (1996). L'activité de simulation d'un dessinateur CAO dans une tâche de conception. *Le travail Humain, 59(3),* 253-255.

Lebahar, J.-C. (1997). La simulation, instrument de représentation et de régulation dans la conception de produits. In P., Béguin et A., Weill-Fassina (coord.), *La simulation : connaître, agir et interagir* (pp. 77-96). Toulouse : Octares Ed.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique.* Paris : PUF, coll. le Travail Humain.

Navarro, C. (2001). Partage de l'information en situation de coopération à distance et nouvelles technologies de la communication : bilan des recherches récentes. *Le Travail Humain, 64(4),* 297-319.

Pagès, R. (1995). Communication : Les processus de la communication. *Encyclopaedia Universalis France S.A.*

Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Paris : PUF.

Quarteroni, P. (1996). *Cognitivité et enseignement assisté par ordinateur : une approche par et pour la gestion de projet.* Thèse de doctorat : université Aix-Marseille 3.

Rabardel, P. & Vérillon, P. (1985). Relations aux objets et développement cognitif. In *Actes des 7èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique, Chamonix*.

Rabardel, P. & Vérillon, P. (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique : réflexions pour un cadre d'analyse. In P., Rabardel et A., Weil-Fassina, *Le dessin technique* (pp. 209-217). Paris : Hermes.

Rabardel, P. & Weill-Fassina, A. (1987). *Le dessin technique.* Paris : Hermes.

Rabardel, P. (1980). *Contibution à la lecture du dessin technique.* Thèse de doctorat : INRP-HESS Paris.

Rabardel, P. (1993). Micro-genèse et fonctionnalité des représentations dans une activité avec instrument. In A., Weil-Fassina, P., Rabardel et D., Dubois, *Représentations pour l'action* (pp. 113-137). Toulouse : Octares.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains.* Paris : Armand Colin.

Rhéaume, J. (1993). Les hypertextes et les hypermédias. *Educatechnologies, 1(2),* www.fse.ulaval.ca/fac/ten/reveduc.

Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1995). Recherche d'informations dans les systèmes hypertextes : des représentations de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. *Sciences et techniques éducatives, 2(3),* 307-331.

Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. In J.-F. Rouet et A. Tricot (Eds), *Les hypermédias.* Paris : Hermes.

Tricot, A., Pierre-Demarcy, C. & El Boussarghini, R. (1998). Un panorama des recherches sur l'activité mentale de l'utilisateur d'un hypermédia. *Sciences et techniques éducatives, 5(4),* 371-400.

Vergnaud, G. (1998). Au fond de l'action, la conceptualisation. In J.-M., Barbier (Dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 275-292). Paris : PUF.

Visser, W. (1993). *Raisonnement basé sur des cas : une thématique transversale en psychologie et en ergonomie cognitive.* Rapport interne LAFORIA n°93/42. Paris : Institut Blaise Pascal, LAFORIA, Décembre 1993.

Visser, W. (1999). Etude en ergonomie cognitive sur la réutilisation en conception : quelles leçons pour le raisonnement à partir de cas ? *Revue d'intelligence artificielle, 13(52),* 129-154.

Weil-Barais, A. (Dir.) (1998). *L'homme cognitif*. Paris : PUF.

Weil-Fassina, A., Rabardel, P. & Dubois, D. (1993). *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octares.

4. Références pédagogiques et didactiques

ASTER (1988). Modèles et modélisation, *n°7*. Paris : INRP.

Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences.* Paris : De Boeck.

Barbier, J.-M. (1998). Introduction. In J.-M., Barbier (Dir.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (pp. 1-18). Paris : PUF

Bouffartigue, P. (1994). *De l'école au monde du travail : la socialisation des jeunes ingénieurs et techniciens.* Paris : L'Harmattan.

Cartonnet, Y. & Clotilde, B. (1998). Le modèle Pystile : Des concepts pour penser les contenus et leurs modes d'enseignement en STI. *Technologies et formations, 76*, 12-14.

Cartonnet, Y. & Durey, A. (1996). Une assistance multimédia interactive pour les séances de travaux pratiques ? Evaluation. *Sciences et techniques éducatives, 3(4).*

Cartonnet, Y. & Martinand, J.-L. (2000). Comment caractériser la valeur préprofessionnalisante des formations technologiques ? In *Actes du colloque "professionnalisation des cadres d'entreprise", Toulouse, 15-16 mars 2000*.

Cartonnet, Y. (1999). Apprentissage de schèmes d'action instrumentée ; comparaison de populations d'étudiants et de type de médiation. *Aster, 28*, 149-165.

Cartonnet, Y. (2000a). *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches : Université Paris Sud.

Cartonnet, Y. (2000b). Analyse de l'offre éditoriale en technologie de la construction mécanique relativement à la formation à la gestion des risques. In A., Giordan, J.-L. Martinand et D., Raichvarg (Eds), *L'éducation aux risques - santé, sécurité, environnement - (pp. 459-464). Actes JIES XXII, 20-24 mars 2000, Chamonix*.

Cartonnet, Y. (2002). L'idée de technicité pour guider l'élaboration des activités pédagogiques en formation d'ingénieurs. In *Actes du colloque IDMME 2002, Clermont-Ferrand.*

Cartonnet, Y., Douchin, B., Gravouil, A., Huchette, M., Marquis, D., Savattero, E., Soulier, B. (1999). Contribution à l'enseignement de la conception distribuée : le projet Codimi et son analyse didactique. In *Actes du 6ème colloque PRIMECA sur la Conception Mécanique Intégrée, La Plagne* (pp. 157-163).

Chabal, J ., De Prester, R., Sclafer, J., Ducel, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique.* Paris : Foucher.

Charlot, B. (1997). *Du rapport au savoir : éléments pour une théorie.* Paris : Anthropos.

Cros, F. (1998). L'innovation en éducation et en formation : vers la construction d'un objet de recherche ? *Éducation permanente, 134.*

Doulin, J. (1996). *Analyse comparative des difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes techniques en classe de seconde : option TSA.* Thèse de doctorat : Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'éducation scientifique.* Paris : Peter Lang.

Dumas-Carré, A. & Weil-Barais, A. (1998). *Tutelle et médiation dans l'enseignement et la formation. Rapport de Contrat de recherche entre l'univ Paris 7 et l'IUFM de Versailles.*

Gahlouz, M. (1994). *Eléments de conception de contenus relatifs à la modélisation dans les pratiques de construction : le cas du dimensionnement d'éléments structuraux dans les référentiels de BEP "construction-topographie"*. Thèse de doctorat : université Paris 7.

Laborde, C. & Vergnaud, G. (1994). L'apprentissage et l'enseignement des mathématiques. In G., Vergnaud (Coord.), *Apprentissages et didactiques, où en est-on ?* (pp. 63-98). Paris : Hachette.

Lenoir, Y. (1996). Médiation cognitive et médiation didactique. In C., Raisky et M., Caillot (Eds), *Au delà des didactiques, le didactique*. Bruxelles : De Boeck.

Léveiller-Routault, A. (2000). *Objectivation des stratégies de conception en classe de seconde par actigrammes*. Rapport de stage tutoré de DEA : LIREST - ENS de Cachan.

Martinand, J.-L. (1985). Sciences, techniques, culture et profession. In A., Giordan, J.-L. Martinand et D., Raichvarg (Eds), *Éducation scientifique et formation professionnelle, Actes JIES VII, Chamonix* (pp. 27-35).

Martinand, J.-L. (1989). Questions actuelles de la didactique des sciences. In A. Giordan et al., *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Bern : Peter Lang.

Martinand, J.-L., Astolfi, J.-P., Chomat, A., Drouin, A.-M., Genzling, J.-C., Larcher, C., Lemeignan, G., Méheut, M., Rumelhard, G. & Weil-Barais, A. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences.* Paris : INRP.

Matray, F. (1952). *Pédagogie de l'enseignement technique*. Paris : PUF, coll. Nouvelle encyclopédie pédagogique.

Meirieu, P. (2000a). *Itinéraire des pédagogies de groupe : Apprendre en groupe - 1. Lyon : Chroniques sociales.* (7ème édition).

Meirieu, P. (2000b). *Outils pour apprendre en groupe : Apprendre en groupe - 2. Lyon : Chroniques sociales.* (7ème édition).

Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action. *Éducation permanente, 139,* 13-35.

Pléty, R. (1996). *L'apprentissage coopérant*. Lyon : ARCI, presse universitaire de Lyon.

Prudhomme, G. (1999). *Le processus de conception des systèmes mécaniques et son enseignement : La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique*. Thèse de doctorat : université Grenoble 1.

Prudhomme, G. (2000). Le processus de conception des systèmes mécaniques et son enseignement : La transposition didactique comme outil d'une analyse épistémologique. In *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques, 1999-2000, LIREST*.

Veillard, L. (2000). *Rôle des situations professionnelles dans la formation par alternance : Cas des élèves-ingénieurs de production de l'ISTP de Saint-Etienne*. Thèse de doctorat : université Lyon 2.

Welch, M. (1999). Student's Use of Three-Dimensional Modelling While Designing and Making a Solution to a Technological Problem. *International Journal of Technology and Design Education, 9(3),* 241-260.

Zaïd, K. (2001). *Objectivation de la planification des élèves en licence de technologie mécanique d'une tâche de conception*. Rapport de stage tutoré de DEA : LIREST - ENS de Cachan.

Table des illustrations

Figure 1 : Organisation matérielle de la formation Codimi 20
Figure 2 : Ecorché d'une pompe doseuse dont l'archétype est le système bielle-manivelle à plateau incliné 21
Figure 3 : Exemple de productions attendues, les parties jaune et bleue se complétant par superposition des feuilles de calques 22
Figure 4 : Schémas cinématiques minimaux des trois archétypes de pompes doseuses à trouver 23
Figure 5 : Diagramme comparatif des performances des pompes doseuses selon leur archétype 24
Figure 6 : Documents à produire pour choisir un archétype selon la démarche de l'analyse de la valeur 25
Figure 7 : Représentation de la démarche de problématisation 29
Figure 8 : Représentation de la structure de la base de données 32
Figure 9 : Exemple de tableau listant les modèles d'une gamme et leurs caractéristiques, extrait de la base hypertexte 33
Figure 10 : Exemple de diagramme débit/pression de trois gammes de pompes doseuses, extrait de la base hypertexte 34
Figure 11 : Exemple de caractéristiques maximales "majorant" une gamme de pompes, extrait de la base hypertexte 34
Figure 12 : La fenêtre du logiciel de navigation telle qu'elle apparaît à l'écran 41
Figure 13 : Les trois activités élémentaires de recherche d'informations et leurs interrelations (synthèse effectuée à partir de Rouet et Tricot, 1998) 44
Figure 14 : Catégories d'informations utiles dans la base de données, et relations d'inclusion entre ces catégories. En rouge : les irrégularités. 47
Figure 15 : Champ de la caméra filmant un groupe en cours de consultation de la base de données hypertexte 55
Figure 16 : Arbre de navigation correspondant au "modèle rationnel" 58
Figure 17 : Evolution des productions après guidage par le graphe des performances et le tableau des sous-structures 60
Figure 18 : Conséquences des écarts de méthode observés sur les échecs des groupes . 62
Figure 19 : La structure de la base de données présente une irrégulairté de structure au niveau de l'accès aux 11 branches constructeur 69
Figure 20 : Ordre chronologique de consultation les branches constructeur 69
Figure 21 : quantité de pages consultées hors du modèle rationnel, à la recherche des caractéristiques de pression et de débit 70
Figure 22 : Ordre chronologique de consultation des branches constructeur par les étudiants du groupe E1 72
Figure 23 : Bilan des difficultés de la recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte 73

Figure 24 : Rapidité moyenne relative des groupes : à trouver et sélectionner les pompes correctes (gauche) ; à visiter les branches constructeur (droite) 75
Figure 25 : Feuille de consigne 29 donnée aux étudiants au début de la séance 4 79
Figure 26 : Extrait du schéma cinématique "corrigé" distribué aux étudiants au début de la séance 4 81
Figure 27 : Extrait d'un exemple de plan d'ensemble industriel d'une pompe doseuse construite sur l'archétype du système bielle-manivelle à plateau incliné 82
Figure 28 : Succession des représentations de l'objet conçu et capacités de conception, (synthèse effectuée d'après le « schéma d'actualisation » de Yves Cartonnet, 2000) 84
Figure 29 : Raisonnements et connaissances en jeu dans la proposition de solutions 86
Figure 30 : Copie du champ de la caméra filmant un groupe en cours conception d'une sous-structure 99
Figure 31 : Exemple d'actigramme : celui qui décrit les tâches réalisées par les deux étudiants du groupe A1 au cours de la séance 5 (de 4h à 8h à partir du début de la séance 4) 100
Figure 32 : Exemple de représentation de la prise en charge des sous-structures de la pompe doseuse 101
Figure 33 : Exemple de représentation du réseau de communication 102
Figure 34 : Diagramme d'actualisation (partiel) du groupe A1 lors de la conception de la bielle et de ses rotules 103
Figure 35 : Résultats obtenus par les 84 groupes ayant suivi la formation Codimi en 1999, 2000 et 2001 (à gauche) et par la sous-population filmée (à droite) 104
Figure 36 : Nature des erreurs concernant la conception de la bielle et de ses rotules (à gauche) et du blocage du système de réglage (à droite), pour le 3 promotions d'étudiants (1999, 2000, 2001) 104
Figure 37 : Histogrammes de la durée passée par chacun des 32 étudiants filmés à ne rien faire (à gauche) et à participer à la conception des sous-structures (à droite) 110
Figure 38 : Représentation des échanges entre les étudiants du groupe B1 110
Figure 39 : Histogramme de partage du temps de dessin sur la feuille de calque entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes) 112
Figure 40 : Histogramme de partage du temps d'utilisation de la messagerie électronique entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes) 113
Figure 41 : Histogramme de partage du temps de présence en visioconférence entre les étudiants (parmi les 32 étudiants filmés, dans 12 groupes) 113
Figure 42 : Bilan des difficultés de la conception collective d'une sous-structure de la pompe doseuse 116
Figure 43 : Feuille de consigne 29 donnée aux étudiants au début de la séance 4 119
Figure 44 : Les sous-structures de la pompe doseuse à concevoir, leurs liaisons de contact et leur distribution entre les deux groupes jumelés (d'après le schéma cinématique corrigé et la feuille de consigne 29) 122
Figure 45 : Détail d'un poste de visioconférence 128
Figure 46 : Copie de l'écran de visioconférence 129
Figure 47 : Exemple de fiche décrivant les méthodes erronées 135
Figure 48 : Productions des étudiants, concernant la conception des interfaces (42 unités de travail, en 1999, 2000 et 2001) 136

Figure 49 : Incompatibilités aux interfaces observées sur les dessins rendus (42 unités de travail en 1999, 2000, et 2001) 136
Figure 50 : Actigramme de la conception des sous-structures par les 2 groupes de l'unité de travail AB1. Ordre chronologique de dessin des sous-structures. 139
Figure 51 : Exemple de schéma de présentation des points de départ de conception : 7 points de départ, dont 5 aux interfaces 140
Figure 52 : Taux d'interfaces parmi les points de départ de conception 140
Figure 53 : Bilan des difficultés de la conception des interfaces 144
Figure 54 : Schéma de diagnostic des difficultés de la recherche des produits concurrents dans une base de données hypertexte 148
Figure 55 : Schéma de diagnostic des difficultés de la conception collective d'une sous-structure de la machine 148
Figure 56 : Schéma de diagnostic des difficultés de la conception des interfaces 149

Table des tableaux

Tableau 1 : Nouveaux dispositifs organisationnels (données provenant de Gollac et al., 2000) 15
Tableau 2 : Utilisation des outils informatiques dans les entreprises industrielles (données provenant de Gollac et al., 2000) 17
Tableau 3 : Equipement informatique des bureaux d'études en France (données provenant de Préveraud, 1998) 17
Tableau 4 : Déroulement chronologique de la formation Codimi 22
Tableau 5 : Déroulement chronologique du début de la formation Codimi (extrait de l'annexe 1, p. 6) 30
Tableau 6 : Synthèse des performances de la pompe doseuse à concevoir, exigées dans le cahier des charges 31
Tableau 7 : Les 4 gammes de pompes doseuses à trouver dans la base de données 35
Tableau 8 : Les accès aux pages de la base de données permis par le navigateur 40
Tableau 9 : Annonces des catégories d'informations dans chaque branche, concernant les produits vendus par les constructeurs 48
Tableau 10 : Constitution des groupes filmés et durée des séquences de "recherche libre" 52
Tableau 11 : Liste des descripteurs permettant de valider les hypothèses 54
Tableau 12 : Grille de retranscription des films (tâche n°1) 56
Tableau 13 : Productions des 11 groupes filmés, à la recherche des archétypes dans la base hypertexte. 59
Tableau 14 : Ecarts entre la méthode mise en œuvre par les groupes à la recherche des archétypes dans la base hypertexte et la méthode attendue 61
Tableau 15 : Modes opératoires utilisés par les étudiants pour remonter de plusieurs niveaux dans l'arborescence de la base de données hypertexte. 63
Tableau 16 : Visite incomplète des pages "gamme" 67

Tableau 17 : Synthèse des performances exigées de la pompe doseuse à concevoir 80
Tableau 18 : Constitution des groupes filmés à leur poste de travail pendant les séances 4 et 5 96
Tableau 19 : Liste des descripteurs permettant de valider les hypothèses..... 98
Tableau 20 : Ecarts de méthode observés, concernant la conception de la bielle et du blocage du système de réglage (sur les 12 groupes filmés, D1 est exclus car il n'a pas traité le blocage du système de réglage) 105
Tableau 21 : Les défauts dessinés qui n'ont pas été envisagés dans le discours des étudiants 106
Tableau 22 : Descripteurs des incompatibilités observables par superposition des deux feuilles de calque 132
Tableau 23 : Liste des descripteurs qui permettent de valider les hypothèses..... 133
Tableau 24 : Activités de planification en fonction des besoins d'information aux les interfaces observés au début de la séance n°4..... 137
Tableau 25 : Écarts de méthode à l'origine des défauts de compatibilité dessinées et des dessins incomplets aux interfaces 137
Tableau 26 : Incompatibilités pas évoquées ou prévues mais pas respectées, et finalement dessinées sur la feuille de calque 142

Michaël Huchette – 2002

Sommaire des annexes

ANNEXE 1 LA FORMATION CODIMI 3
Plan des salles 4
Le déroulement chronologique 6
Consignes données aux étudiants 8
Extraits de catalogues dont disposent les étudiants 36

ANNEXE 2 RECHERCHE DES PRODUITS CONCURRENTS DANS UNE BASE DE DONNÉES HYPERTEXTE 45
Retranscription des films 46
Graphiques montrant le butinage dans les pages "gamme" 67
Arbres de navigation des groupes observés 68

ANNEXE 3 LA CONCEPTION COLLECTIVE D'UNE SOUS-STRUCTURE 79
Représentation des échanges entre les étudiants 80
Détail des erreurs dessinées 81
Correspondances entre erreurs dessinées et critères d'évaluation énoncés 82
Données sur l'aide apportée à l'étudiant B1-1 par ses camarades 83
Extraits de plans produits par les étudiants de la promotion 2000 84
Actigrammes 96
Diagrammes d'actualisation 109
Représentation des prises en charge des sous-structures 122
Retranscription des discours de conception collective de la bielle et ses rotules et du blocage du système de réglage 125

ANNEXE 4 CONCEPTION DES INTERFACES 139
Constitution des unités de travail 140
Notations 141
Planification de la conception des interfaces 142
Erreurs de concordance des dessins des 42 unités de travail des promotions de 1999, 2000 et 2001 143
Bilan des scores et des écarts de méthode associés de la promotion d'étudiants de l'année 2000 145
Ordre chronologique de conception des sous-structures 149
Points de départ de conception 152
Extraits de plans 153
Méthodes erronées 155
Retranscription des visioconférences 171
Messages électroniques échangés 255

ANNEXE 5 LES BUREAUX D'ÉTUDES MÉCANIQUES EN FRANCE 307

Evaluation expérimentale de l'apport, pour une formation d'ingénieurs, d'un simulateur informatique en travaux pratiques de bureau d'études mécaniques.

Experimental evaluation of the contribution, for an engineers' training, of a simulation situation in a practical work of mechanical design.

Michaël Huchette

Résumé : Le métier de concepteur de produits industriels change : nouvelles organisations du travail, nouveaux outils informatiques, nouvelles méthodes. L'enjeu de cette thèse est de prendre en compte ces évolutions dans le contenu des formations technologiques du supérieur.
L'objectif est de mesurer les difficultés rencontrées par des étudiants de Licence de Technologie mécanique au cours d'une formation nouvelle à la conception de machines industrielles. Cette formation consiste à simuler la conception distribuée et à distance d'une machine. Trois activités d'étudiants ont été analysées, en référence à trois tâches professionnelles : la recherche de produits existants dans une base de données hypertexte, pour un réinvestissement en conception ; la conception collective d'une sous-structure de la machine par un groupe de 3 étudiants ; la coordination de deux groupes travaillant à distance, communiquant par Mél et par visioconférences pour rendre compatibles les sous-structures conçues par chacun d'eux.
Les raisonnements et les connaissances en jeu dans ces trois activités sont précisées grâce à des concepts issus de la psychologie cognitive et de l'ergonomie. Puis des résultats de recherches en pédagogie et en didactique permettent de faire des hypothèses sur les difficultés des étudiants. Enfin, ces hypothèses sont validées par l'observation des activités des étudiants.
Les résultats principaux sont les suivants. Les étudiants font une recherche documentaire incomplète, car ils se construisent une représentation erronée de l'organisation des informations des sites Internet des fabricants. Ils choisissent des solutions techniques inadaptées au milieu de fonctionnement prévu, par ignorance du concept de milieu de fonctionnement et à cause d'une logique scolaire. Ils conçoivent une machine incohérente car leur préoccupation principale est une production locale et individuelle plutôt que globale et collective.

Abstract : *The profession of engineering designer changes: new work organizations, new data-processing tools, new methods. What is at stake in this work is to take into account these evolutions in the technological higher education.*
The objective is to measure the difficulties encountered by students during a new practical work of mechanical engineering design. This one consists in simulating the design of an industrial machine, by distributing the tasks among two designers teams, who work at distance. Three students activities were analyzed, in reference to three professional tasks: the search for existing products in an hypertext data base, for a reinvestment in design; collective design of a machine substructure by a group of 3 students; the coordination of two groups working at different places, communicating by E-Mail and videoconferences to make compatible the substructures designed by each group.
The reasoning and knowledge used in these three activities are specified thanks to concepts resulting from cognitive psychology and ergonomy. Then results of research in science and design education make it possible to make assumptions on the difficulties of the students. Lastly, these hypothesis are validated by the observation of the students activities.
The principal results are as follows. The students make an incomplete information retrieval, because they build themselves a false representation of the information organisation of manufacturers Internet sites. They choose technical solutions unsuited to the medium where the machine should run, by ignorance of this concept of medium and because they adopt a school logic of problem resolution. They design an incoherent machine because their principal concern is a production local and individual rather than global and collective.

Mots-clefs : évaluation didactique, difficultés d'apprentissage, formation d'ingénieurs, conception mécanique, conception distribuée, travail à distance, visioconférence.

Key words : Didactic evaluation, learning difficulties, engineers' formation, mechanical design, distributed design, remote work, videoconference.