

De la représentation à la modélisation de l'architecture : réintroduire le dessin d'esquisse en contexte BIM par sa spatialisation en réalité virtuelle

Vincent Gouezou

▶ **To cite this version:**

Vincent Gouezou. De la représentation à la modélisation de l'architecture : réintroduire le dessin d'esquisse en contexte BIM par sa spatialisation en réalité virtuelle. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Lille, 2020. Français. NNT : 2020LILUH007 . tel-03054390

HAL Id: tel-03054390
https://theses.hal.science/tel-03054390

Submitted on 11 Dec 2020

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.

LACTH
CONCEPTION / TERRITOIRE / HISTOIRE / MATERIALITE
Domaine Conception
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Lille
2, rue Verte, 59650 Villeneuve d'Ascq (France)
École doctorale SHS, Lille 3 Université Lille Nord de France

Thèse de doctorat
Pour l'obtention de grade de Docteur en Architecture (PhD)
Section : Architecture

Présentée par Vincent Gouezou

De la représentation à la modélisation de l'architecture : réintroduire le dessin d'esquisse en contexte BIM par sa spatialisation en réalité virtuelle

Soutenue publiquement à Villeneuve d'Ascq le 21 octobre 2019
Devant le jury composé de :

Frank VERMANDEL (Directeur) : Architecte, Responsable de l'axe « Conception » du LACTH, MCF à l'ENSAP Lille, Université de Lille, et à la Faculté d'architecture LOCI, Tournai. HDR
Laurent GRISONI (co-direction), Professeur à Polytech'Lille, Université de Lille, responsable de l'équipe MINT du CRIStAL, Université de Lille. Docteur en sciences de l'informatique et HDR
Daniel SIRET (Rapporteur): Architecte, Directeur de l'UMR AAU, Université de Nantes. Docteur en Architecture et HDR
Pierre LECLERCQ (Rapporteur) : Ingénieur-Architecte, Professeur en ingénierie architecturale, Université de Liège. Directeur du LUCID. Docteur en sciences appliquées
Isabelle FASSE-CALVET : Architecte, CR de l'équipe GAMSAU de l'UMR MAP. MCf ENSA Marseille, Aix-Marseille Université. Docteur en informatique appliquée
Theophanis TSANDILLAS : CR INRIA. Laboratoire LRI, Université de Paris-Saclay. PhD in Computer Science
Invité : Nicolas MICHELIN : co-directeur de l'agence ANMA architectes

REMERCIEMENTS

J'exprime ici ma reconnaissance et ma gratitude envers toutes et tous ayant été impliqués dans ce travail, en espérant n'oublier personne. Ma famille d'abord! Solen, ma chère compagne que j'aime mais qui n'en demandait pas tant, merci pour ton aide et ton soutien! Coucou aux enfants qui ont subi sans trop comprendre. Gabrielle, 10 ans, et Georges, 3 ans, enfant de la thèse. Vous voir grandir, c'est le summum du bonheur. Merci les enfants, merci la vie ! Merci l'ANMA : l'agence Nicolas Michelin et associés au grand complet. Nicolas Michelin s'est engagé à porter ce travail qui n'existerait pas sans lui, merci infiniment. Cyril Trétout a cru dans ce projet de recherche, sa fibre « techno » et son excellente compagnie m'ont aussi porté. Michel Delplace dont l'exigence m'a obligé, à l'image des documents qu'il m'a confié, à le convaincre de l'intérêt du rapprochement entre architecture et sciences. Anne-Laure D'Artemare dont le travail et la patience et la bienveillance m'ont été essentiels. Julie Delencre qui m'a empêché de venir travailler les jours fériés et m'a aidé. Clément Gauthier, maintenant à l'AREP, drôle, intelligent, sympa, et très compétent, notamment en BIM, tu m'as éclairé. Jean Pérouzel, maintenant chez Systra m'a très amicalement aidé à aborder le BIM d'un point de vue de spécialiste. Emmanuel Vinet, maintenant à Nantes chez F.AU, m'a accueilli formidablement. Merci à Marielle Martin pour ses nombreux « tuyaux » liés au BIM. Que toutes et tous les ANMATIENS soient remerciés pour avoir contribué à un état d'esprit particulièrement sympa et constructif, j'ai aimé être parmi vous : merci ANMA ! Merci à l'équipe MINT du CRIStAL de l'université de Lille, qui m'a adopté. Merci à Laurent Grisoni pour son soutien constant et sa grande et précieuse ouverture d'esprit qui l'ont amené aux franges des sciences et des arts, ça m'a beaucoup inspiré. Merci à Hanae Rateau pour nos échanges, merci à Yosra Rekik pour sa « magie ». A Julien Willeman qui m'a appris à distinguer le *black* du *dark metal*. A Nicolas Brémard, né un 8 mai à Ris Orangis, pour ses lignes de codes « magiques ». Merci à l'équipe du PIRVI, notamment à Mr Samuel Degrande qui a gagné le droit de me demander (presque) tout ce qu'il veut, et que j'admire. Sans ton soutien constant, je n'aurais rien fait, merci et merci Samuel. Merci à l'ENSAPL. Merci à Jean-Marc Zuretti qui a su m'écouter et considérer ce que j'avais à dire et à apporter à l'école. Sans ce soutien initial, il n'y aurait rien eu, je l'ai déjà dit publiquement. Merci à toute l'équipe du LACTH dirigée par Richard Klein pour leur soutien exigeant et constant. Merci à Gérard Engrand, ami fidèle, esprit vif et discussions infinies, je ne pourrai jamais rembourser ma dette, c'est convenu. Merci ! Merci l'ENSAL ! Merci Philippe Deshayes. Merci à Daniel Hurtubise pour son aménité et sa franchise. Merci Régine Teulier pour son exigence et Pierre-Antoine Sahuc pour son amitié et son expertise bienveillante. Merci Fanis pour m'avoir signalé d'excellents articles, dont celui de Mme Goldschmidt, qui doit aussi être remerciée, dont j'admire le travail et l'écriture. Merci, Nicolas Hugoo, qui m'a dit un jour, sur un trottoir du Xème, qu'il tenait à conférer lui-même tel sens à tel trait : ce qui m'a valu quatre ans de recherches. Merci à l'association Europan France

qui a bien voulu nous autoriser à utiliser leurs documents et contenus analytiques de sites français d'une grande qualité constante qui nous a bénéficié pour notre étude comparative. Merci à l'ANRT qui s'ouvre aux architectes. Merci à l'équipe du MAP-ARIA à Lyon. On se connait à peine, mais les quelques mots accueillants d'Hervé Lequay m'ont touché. Merci Hervé, Kevin, Eglantine, Renato, Violette, Xavier, Florent, Antoine, Serge…Merci aux participants qui ont donné de leur temps précieux: Téva Colonneau, Pierre-Antoine Sahuc, Thomas Chuffart, Benjamin Quiniou, Julien Ramet, Anémone Degand, Tristan O'Byrne, et Kevin Jacquot. Merci à Frank Vermandel pour son soutien indéfectible et qui m'aura mené au bout de cette thèse. Merci Stéphanie pour ton aide si précieuse et ton amitié. Merci, enfin, à François Delhay qui m'a souvent porté, sans qui ce travail n'existerait pas, et qui nous manque. Merci François…

RESUME

Dans le cadre du domaine des outils informatisés dédiés à la conception architecturale, les effets du BIM[1] sur les dessins dont usent les architectes pour représenter[2] leurs projets d'architecture suscitent des questionnements. Nous étudions particulièrement l'effet de l'utilisation de logiciels BIM sur le dessin d'esquisse sur les tâches d'idéation lors des premières phases de conception créative. Devenus standards, les logiciels de CAO-BIM sont fondés sur un principe de modélisation qui bouleverse la tradition de la représentation de l'architecture. Conduiraient-ils à l'exclusion latente des pratiques de dessin ? Conviennent-ils à la conception créative ? En proposant une critique de la modélisation BIM pour son caractère trop consensuel et adialectique pour la démarche projectuelle, nous questionnons l'antinomie supposée entre CAO-BIM et dessin d'esquisse. Nous formons l'hypothèse d'une possible modalité « bimable » de dessin d'esquisse. Dans son étude intitulée *The Dialectics of sketching* (Goldschmidt, 1991a), Gabriela Goldschmidt a révélé la réflexivité de la dialectique œuvrant dans le dessin d'esquisse qu'elle décrit comme une alternance entre points de vue voir Comme et voir Que traduisant les actions de conjecturer et d'analyser par des moyens graphiques et langagiers. Nous avons tenté d'observer cette dialectique de l'esquisse en adaptant cette méthode pour évaluer pour reproduire des passassions « à la main » et les comparer à trois modalités informatisées, en DAO[3] et CAO-BIM, la dernière étant le dessin spatialisé en réalité virtuel (RV) au moyen d'un casque de réalité virtuelle. Baptisée « DialecBIM », cette méthode d'évaluation du dialectisme d'une modalité d'esquisse à produit des résultats intéressants et pourrait être étendue à d'autres modalités. Conformément aux attentes, les modalités DAO et CAO-BIM présentent un niveau de dialectisme moindre comparativement à la Main, qui est la référence. Les scores surprenants obtenus par la modalité RV et dessin d'esquisse spatialisé sont proches de ceux de la Main malgré l'apprentissage requis et les contraintes (station verticale, fatigue visuelle, imprécision du contrôleur manuel). La modalité en RV présente des qualités particulièrement utiles pour la conception créative basée sur un modèle 3D, BIM ou autre, et peut être améliorée. Nos travaux conduisent aussi à discuter de la méthode d'évaluation du dialectisme : le critère du changement de point de vue, la commutabilité, apparaissant consolidable comparativement au critère plus « robuste » de la quantité d'arguments. Avons-nous raison de vouloir mesurer des qualités architecturales comme le dialectisme ? Nous argumentons que c'est utile pour résister aux tendances performancielles, optimisantes, de la modélisation BIM qui menace la part créative du domaine architectural.

Mots clés : Conception architecturale, BIM, Réalité Virtuelle, dialectique de l'esquisse, dessin spatialisé, représentation et modélisation.

[1] Selon le comité *National bim standard* (du *National Institut of Building Sciences*) : « le BIM se définit comme «une représentation digitale des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. Le BIM est une ressource de connaissances partagées pour l'information d'un bâtiment ou équipement formant une base fiable pour la prise de décisions durant son cycle de vie» in (AIA, 2014)Trad.Gouezou

[2] Ou présenter, si l'on tient à la thèse sur l'Objectivité en science de Daston et Galison. (Daston and Galison, 2012)

[3] Dessin Assisté par Ordinateur

ABSTRACT

In the field of computerized tools dedicated to architectural design, the effects of BIM on the drawings used by architects to represent their architectural projects raise questions. We are particularly studying the effect of BIM software on sketch drawing and ideation tasks in the early stages of creative design. Now standard, CAD-BIM software is based on a modeling principle that overturns the tradition of architecture representation. Would they lead to the latent exclusion of drawing practices? Are they suitable for creative design? By proposing a critique of BIM modeling for its too consensual and adialectic character for the projectual approach, we question the supposed antinomy between CAD-BIM and sketch drawing. We form the hypothesis of a possible "bimable" modality of sketch drawing. In her study entitled *The Dialectics of sketching*, Gabriela Goldschmidt (1991) revealed the reflexivity of the dialectic working in sketch drawing, described as an alternation between points of view - see As and see That, translating the actions of conjecturing and analyzing by graphic and linguistic means. We tried to observe this dialectic of the sketch by adapting this method to evaluate and reproduce transitions "by hand" and compare them to three computerized modalities, in computerized drawing and BIM, the last being spatialized drawing in virtual reality (VR) using a headset. Called "DialecBIM", this method of evaluating dialecticism from one sketch modality to another has produced interesting results and could be extended to other modalities. As expected, the computerized drawing and BIM modalities have a lower level of dialectic compared to the Hand, which is the reference. The surprising scores obtained by the RV mode and spatialized sketch drawing are close to those of the Hand despite the required learning and constraints (vertical station, visual fatigue, manual controller imprecision). The VR modality has particularly useful qualities for creative design based on a 3D model, BIM or other, and can be improved. Our work also leads us to discuss the method of evaluating dialecticism: the criterion of point of view changes, commutability, appearing consolidable compared to the more "robust" criterion of the quantity of arguments. Are we right to want to measure architectural qualities such as dialectic? We argue that this is useful to resist the performative, optimizing trends of BIM modeling that threaten the creative part of the architectural field.

Keywords : Architectural Design, BIM, Virtual Reality, Dialectic of sketching, Spatialized Drawing, Representation and Modeling.

Table des matières

Table des matières 7
INTRODUCTION 12
1. SINGULARITES DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE 15
1.1. Contextualités du projet architectural 15
1.1.1. La conception architecturale parmi les sciences de la conception 15
1.1.2. L'approche par projet 22
1.1.3. Les caractères narratif et fictionnel du projet architectural 29
1.1.4. Conception comme conversation avec une situation 32
1.2. Empirisme des connaissances du concepteur 34
1.2.1. Co-évolution entre structuration et résolution de problème 34
1.2.2. La problématisation, préalable du *problem solving* 37
1.2.3. *Design by analogy* et expertises du concepteur 39
1.2.1. Conclusion 44
2. LE DESSIN D'ESQUISSE A LA MAIN ET SON INFORMATISATION 46
2.1. Caractéristiques et fonctions du dessin d'esquisse 46
2.1.1. Le dessin d'esquisse aux commencements de la conception 46
2.1.2. Itérations entre l'image mentale et les représentations externalisées 60
2.1.3. Croquis Mémoire de travail et mémoire à long terme 66
2.1.4. Comparer la conception créative avec ou sans dessin d'esquisse 72
2.1.5. La notion de représentation en architecture 73
2.1.6. Tentative et découverte inattendue dans l'esquisse exploratoire 77
2.2. Réflexivités du Dessin d'esquisse 85
2.2.1. Feedback, réflexivité, interactivités entre l'architecte et son dessin d'esquisse 85
2.2.2. Dialectiques du dessin d'esquisse 89
2.2.3. Le système annotatif de Goldschmidt 97
2.2.4. Le concept de transformation latérale de Goel 102
2.2.5. Dissensualité de la représentation de l'architecture 104
2.2.6. Conduite attentionnelle face aux idées alternatives : problème de la « fixation » 107
2.2.7. Associations du Dessin et du langage 109
2.2.8. Prévalence des projections géométrales en dessin d'esquisse 115
2.3. Précédents de dessin d'esquisse informatisé 119
2.3.1. La nature non intuitive de l'informatique 119
2.3.2. Informatisations du croquis 125
2.3.3. Bénéfices de l'immersion en RV pour la conception 129

2.3.4. Précédents d'environnement virtuel dédiées à la conception ... 136
2.4. Dessin spatialisé et informatisé ... 144
2.4.1. Dessin spatialisé en EV ... 144
2.4.2. Dessin spatialisé pour la modélisation 3D ... 148
2.4.3. Solutions commerciales de dessin spatialisé ... 155
2.4.4. Dessin spatialisé BIMable ... 160
2.5. Conclusion ... 172
3. ENJEUX DE L'IMPLEMENTATION DU BIM ... 175
3.1. Problèmes de définition du BIM et *marketing* ... 175
3.1.1. Définitions ... 175
3.1.2. Les architectes français au seuil du BIM ... 177
3.1.3. Le marché des logiciels BIM ... 179
3.2. Concept d'Interopérabilité ... 184
3.2.1. L'interopérabilité : l'ingénierie concourante appliquée à l'architecture. ... 184
3.2.2. De l'organisation séquentielle à l'ingénierie concourante ... 187
3.3. Modélisation BIM : la fin de la représentation ? ... 194
3.3.1. Concevoir sans dessiner ? ... 194
3.3.2. Essoufflement de l'approche par représentation ... 198
3.3.3. Cas pratique comparant représentation et modélisation ... 202
3.3.4. Cas d'usage en agence ... 205
3.3.5. La modélisation BIM automatisant le document ... 215
3.3.6. BIM comme passage au paradigme de modélisation ... 217
3.3.7. Notions de modèles ... 228
3.3.8. Conclusion ... 239
4. PROBLEMES DU BIM POUR LA CONCEPTION CREATIVE ... 242
4.1. L'a-dialectisme de la modélisation BIM ... 242
4.1.1. Le « catégorisme » de la modélisation « BIM » ... 242
4.1.2. Consensualité et a-dialectisme de la modélisation BIM ... 244
4.1.3. Impacts de la modélisation BIM sur la traduction du dessin ... 248
4.2. La conception à marche forcée ... 256
4.2.1. La marche forcée du temps masqué BIM ... 256
4.2.2. Fixations de conception causées par la CAO ... 259
4.2.3. La « monumentalité » du BIM et son inadéquation à l'esquisse ... 262
4.3. Conclusion ... 270
5. HYPOTHESES D'UN MODE D'ESQUISSE BIMABLE ... 274

5.1. Critiquer la modélisation BIM par le dessin associé au langage 274
5.1.1. Précédents d'intégration du BIM et de la RV 274
5.1.2. Précédents d'interfaces de sketching en RV pour l'idéation 275
5.1.3. Précédent de dessin spatialisé adaptable à notre étude 277
5.2. Restrictions : idéation et revue de projet 279
5.2.1. Dessin pour commenter, non pour modifier la géométrie 279
5.2.2. Ergonomie du dessin à la main du dessin immergé 280
5.2.3. Phases et caractérisation du dessin spatialisé 280
5.3. Hypothèse de travail 282
6. ETUDE COMPARATIVE 284
6.1. Précédents méthodologiques comparables 284
6.2. Précédent de *VAirDraw* et Séance préparatoire du dessin spatialisé 287
6.3. Méthode DialecBIM 290
6.3.1. Comparaison de quatre différents modes d'esquisse 290
6.3.2. Argument et commutabilité comme critères du Dialectisme 292
6.3.3. Adaptation de la grille annotative de Goldschmidt 1991 294
6.3.4. Grilles annotatives des passations de Goldschmidt (1991) avec quantités, scores et indicateurs 296
6.3.5. Adaptation de *VAirDraw* au « dessin spatialisé Bimable » 298
6.3.6. Problème sémantique entre CAO-BIM et RV 298
6.3.7. Conception et déroulé de l'expérience 299
6.3.8. Test du protocole à la Main sur le site d'Angers 301
6.3.9. Test du protocole en DAO sur le site d'Aurillac 303
6.3.10. Test du protocole en CAO-BIM sur le site de Bègles 303
6.3.11. Test du protocole en RV et dessin spatialisé sur le site de Grigny-Ris Orangis 304
6.3.12. Préparations : déroulé, ordres des passations, participants, programmes 310
6.3.13. Soutiens 312
7. RESULTATS ET ANALYSE: EVALUER LE DIALECTISME DES MODALITES D'ESQUISSE 313
7.1. Validation du critère des quantité d'arguments Comme et Que 313
7.1.1. Grilles annotatives avec indicateurs à la Main 313
7.1.2. Grilles annotatives avec indicateurs en DAO 316
7.1.3. Grilles annotatives avec indicateurs en CAO-BIM 318
7.1.4. Grilles annotatives avec indicateurs en RV-*VAirDraw* 322
7.1.5. Analyse des arguments par Tierce, Paires et Unités 327
7.1.6. Synthèses 330
7.2. Validation du critère de commutabilité entre Comme et Que 335

7.2.1. Expression de la commutabilité en pourcentage ... 335
7.2.2. Comparaison des graphiques de commutations ... 337
7.3. Projet de score de dialectisme par modalité d'esquisse ... 340
7.3.1. Score d'arguments ... 340
7.3.2. Score de Commutabilité à partir des proportions ... 341
7.4. Scores de Dialectisme ... 343
7.5. Questionnaire ... 345
8. POSITIONNEMENT ET DISCUSSION ... 347
8.1. Discussion des résultats ... 347
8.2. Articulation des résultats et de la méthode DialecBIM ... 349
8.3. Articulation entre les problèmes théoriques et DialecBIM ... 351
8.3.1. Expertise et situation de conception à la Main, en DAO, CAO-BIM et RV ... 351
8.3.1. Critiques de la modélisation BIM ... 353
8.3.2. Potentiels de la RV et du dessin spatialisé ... 357
8.4. Atouts et défauts du dessin spatialisé en RV ... 359
8.4.1. Sentiment immersif et modèle photogrammétrique ... 359
8.4.2. Dessin spatialisé et modèle photogrammétrique ... 360
8.5. Préconisation pour un outil de sketching spatialisé bimable ... 363
9. CONCLUSION GENERALE ... 364
9.1. Problème général ... 364
9.2. Limites et ambitions ... 365
10. LISTE DES ILLUSTRATIONS ... 367
11. BIBLIOGRAPHIE ... 371
12. ANNEXES ... 387
12.1. Travaux précédents : *sketching* informatisé ... 388
12.2. Travaux précédents : *sketching* spatialisé en RV ... 389
12.3. Travaux précédents : *sketching* pour la modélisation géométrique ... 390
12.4. Travaux précédents : Modélisation géométrique en Réalité Virtuelle ... 391
12.5. Travaux précédents : *sketching* pour le Design Génératif ou IA ... 392
12.6. Retranscription des passassions de 1991 par Goldschmidt ... 393
12.7. DialecBIM : Calendrier et ordre des passassions ... 394
12.8. DialecBIM : Programme par candidat sur une demi-journée ... 394

12.9. DialecBIM : Assignation de site par modalité d'esquisse 394
12.10. DialecBIM : Programme complémentaire 395
12.11. DialecBIM : Passassion test du Participant 0 396
12.12. DialecBIM : Passassion du Participant 1 397
12.13. DialecBIM : Passassion du Participant 2 398
12.14. DialecBIM : Passassion du Participant 3 399
12.15. DialecBIM : Passassion du Participant 4 400
12.16. DialecBIM : Passassion du Participant 5 401
12.17. DialecBIM : Passassion du Participant 6 402
12.18. DialecBIM : Passassion du Participant 7 403
12.19. DialecBIM : Toutes les passassions à la Main 404
12.20. DialecBIM : Toutes les passassions en DAO 405
12.21. DialecBIM : Toutes les passassions en CAO-BIM 406
12.22. DialecBIM : Toutes les passassions en RV (VAirDraw) 407
12.23. DialecBIM : Questionnaire, préférence et discussion 408
12.24. DialecBIM : Scores par modalité (commutabilité, Arguments, Préférences) 409
12.25. DialecBIM : Qualité d'input d'argument 410
12.26. DialecBIM : Qualité d'input Comme et Que par modalité 410
12.27. DialecBIM : Courbes d'arguments Comme et Que des participants 411

INTRODUCTION

Cette recherche s'adresse au problème général de l'adaptation des pratiques d'architectes à l'informatisation et, plus particulièrement, à la question de la place et du rôle du dessin dans des processus de conception architecturale. Comme ailleurs, les domaines de l'informatique ont engendré de profondes mutations impactant les processus de conception architecturale. Favorisant la globalisation de l'économie et la recherche constante de maximisation des profits, cette informatisation du monde finit parfois par opposer l'homme et ordinateur[4]. La vitesse de développement de l'informatique et sa propagation n'arrangent rien, ne laissant que peu de temps aux sociétés pour s'y adapter. Les logiques d'optimisation permises par ce domaine des STIC[5] posent problème lorsqu'elles ont pour seule finalité le profit et qu'elles bousculent des pans entiers de l'économie réelle. On conçoit qu'à partir d'un certain seuil, une amélioration peut revêtir un aspect inquiétant. L'interview d'Astro Teller qui dirige le laboratoire Google [X] est, par exemple, explicite : il y propose de résoudre informatiquement les problèmes rencontrés par l'économie réelle qui s'en trouve concurrencée :

> « " *Vous devez trouver les quelques règles d'une* industrie *dont vous essayez de résoudre les problèmes, puis* casser *ces règles* " - est selon Astro Teller nécessaire pour que des idées puissent s'appliquer ensuite " *dans le vrai monde, et pour les vrais gens* ", surtout lorsque votre projet " *vise à* rendre *une chose dix fois meilleure, et pas seulement 10 % meilleure* " » (Teller, 2015)

Le zèle d'agents persuadés d'être des bienfaiteurs peut parfois questionner. Inversement, si l'objectif de ces « disruptions » est l'amélioration dans l'accomplissement de tâches autrefois pénibles ou inenvisageables, elles apparaissent alors plus censées et sont plus facilement adoptées. Ainsi, dans le cas de l'architecture où les modifications sont constantes, l'informatique permet de rationaliser et simplifier ces changements et reprises sur des conceptions originales. Les logiciels de CAO[6] dédiés à l'architecture, le BIM[7] paraissent *a priori* conformes à cet objectif d'amélioration en permettant, par exemple, de maîtriser plus vite les quantités et les spécifications de tous les éléments qui la composent[8]. D'un autre point de vue, cette logique d'optimisation correspondrait plus à la phase de construction du bâtiment qu'à la phase de conception et ne serait pas sans effets collatéraux. Le temps créatif de la conception serait disputé, et le rôle de l'architecte-maître d'œuvre serait bouleversé par le BIM, réduit au rôle d'agent parmi d'autres. De ce point de vue, la question du dessin libre ou dessin

[4] « Selon la loi de Moore, « le processeur de l'ordinateur voit sa puissance doublée tous les 18 mois, décuplée tous les cinq ans, c'est une échelle très différente de progression et ça affecte une frange plus large de l'économie que ne le faisaient les machines à vapeur, sur toutes les taches cognitives. Cela se produit bien plus vite et largement qu'avant.» (Heath, 2014) TRAD.GOUEZOU

[5] Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

[6] Conception Assistée par Ordinateur, en anglais CAD pour *Computer Assisted Design*

[7] Building Information Modeling

[8] Kiviniemi résume ainsi plusieurs contributions scientifiques concluant à ces améliorations: « Today in most cases the quantities are measured more or less manually from the drawings, and the process is both laborious and error prone. The possibility of linking cost, ressource and tie schedule information to the model is a significant process improvement from the cost and quality viewpoint (Kam and Fischer 2002 ; Abgas 2004 ; Fischer and Kunz 2004) » in (Kiviniemi and Fischer, 2009)

à la main emblématique des phases créatives de l'esquisse devient importante autant symboliquement que factuellement. La réintroduction d'une modalité d'esquisse dans ce contexte de l'implémentation du BIM peut apparaitre importante si l'on considère qu'elle est la signature de l'architecte, la marque de son esprit critique et créatif garant de la qualité architecturale. Dire si une forme « bimable » de dessin d'esquisse est « informatiquement » possible demande des efforts préalables. D'abord en tentant de caractériser les singularités de la conception architecturale, pour ensuite en faire le lien avec les usages du dessin d'esquisse libre, à la main puis, enfin, faire l'état de l'art des recherches dédiées à l'informatisation du dessin d'esquisse. Une critique générale du BIM suivi d'une critique particulière sur les aspects créatifs problématiques nous mènera à la formulation de notre hypothèse de travail. Parier qu'il peut exister une forme « bimable » de dessin d'esquisse supposera une double proposition. Nous proposerons une modalité d'esquisse « bimable » avec laquelle nous proposerons, parallèlement, un support méthodologique permettant d'évaluer les modalités d'esquisse, méthode qui sera baptisée DialecBIM inspiré des travaux de Gabriela Goldschmidt (1991). Nous tentons de défendre le point de vue que, plutôt que de l'aliéner, l'informatique peut libérer la créativité en conception architecturale. C'est pourquoi nous posons la question suivante : quelle place attribuer au dessin d'esquisse à la main dans un processus de conception architecturale de plus en plus informatisé ?

PARTIE 1

1. SINGULARITES DE LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Cette section vise à exposer les particularités significatives et utiles pour notre étude de la conception architecturale que nous tenterons de situer dans la famille des sciences de la conception. Nous aborderons ensuite sa dimension inventive portée par le concept de projet. Nous verrons ensuite que ce projet s'échafaude dans sa relation avec un contexte particulier, « conversation » entre le concepteur et une situation que nous aborderons avant de présenter les aspects créatifs et exploratoires de la conception. Ensuite nous présenterons les aspects problématiques de la conception architecturale, qu'il s'agisse de structurer (*problem structuring*) un problème donné ou de le solutionner (*problem solving*). Enfin, nous tenterons de caractériser l'expertise de l'architecte dont l'expérience alimente les connaissances qui bonifient ses compétences, parfois aux dépens de l'esprit de découvertes.

1.1. Contextualités du projet architectural

1.1.1. La conception architecturale parmi les sciences de la conception

Entre les sciences humaines et les sciences de la nature, les sciences de la conception recouvrent les connaissances correspondant aux activités inventives proprement humaines. Herbert Simon est considéré comme le fondateur des « sciences de l'artificiel » (Simon, 1969) comportant les sciences de conception ou les sciences systémiques. Un système complexe rapporte des parties au tout en impliquant un corpus de connaissances correspondant à une visée pratique :

> «Roughly, by a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a nonsimple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts, not in an ultimate, metaphysical sense, but in the important pragmatic sense» (Simon, 1962, p. 468)[9]

Le concepteur chargé de faire advenir ce système artificiel et complexe chemine d'un état initial vers un état désiré, par des allers-retours cognitifs entre l'état existant et l'état projeté qui compense le manque de connaissance de ce qu'il faut inventer. La différence entre le monde « perçu » et le monde « actionné » induit des transferts de connaissance entre celles provenant de l'expérience du concepteur et celles qui sont découvertes dans l'action, via les descriptions. Simon compare la situation du concepteur au paradoxe de Menon[10] de Platon qui questionnait l'enseignabilité de la vertu :

> « La distinction entre le monde perçu et le monde actionné définit la condition fondamentale de la survie des organismes adaptatifs... C'est ainsi que la résolution des problèmes demande un transfert permanent des descriptions d'état aux descriptions des processus au sein d'une même

[9] « Abruptement, par système complexe, j'entends un système composé d'un grand nombre de parties qui interagissent d'une manière non simple. Dans de tels systèmes, le tout est plus que la somme des parties, non pas dans un sens métaphysique ultime, mais dans le sens pragmatique » Trad.Gouezou

[10] Le paradoxe est ici que l'on ne cherche pas à savoir ce que l'on sait déjà et que l'on n'a pas conscience de l'existence de choses qui reste à connaitre. Du point de vue du concepteur d'architecture, la première étape consisterait donc à savoir à quel problème de conception il est confronté.

> réalité complexe. Platon dans son Ménon prétend que tout apprentissage est fait de souvenirs. Il ne pouvait pas expliquer autrement comment nous découvrons ou reconnaissons la solution d'un problème à moins que nous ne connaissions déjà la réponse. La dualité de notre relation au monde est la source et la solution de ce paradoxe. Nous posons un problème en donnant une description d'état de sa solution. Notre tâche consiste à découvrir une séquence de processus qui produise l'état désiré à partir de l'état initial. » (Simon, 1991, p. 197)

Simon suggère que la description du problème de conception comporte des éléments de solution. La mémoire et le temps paraissent cruciaux en conception[11], tant les souvenirs semblent concourir à l'énonciation de solutions maîtrisées mais aussi à la découverte de nouvelles solutions. Notons qu'il semble considérer que les activités de conception s'apparentent essentiellement à de la résolution de problème (*problem solving*). Chupin relève chez Simon ce paradoxe temporel qui frappe le concepteur découvrant, avec la soudaineté d'un *Eurêka,* qu'il sait intuitivement résoudre un problème inédit. Le point de départ de cette prise de conscience « heuristique » consisterait dans la reconnaissance qu'une idée particulière peut déclencher les séquences suivantes d'un processus de conception. Jane Darke (1979) a nommé cette idée d'amorçage « générateur primaire » (*primary generator)* que Chupin commente comme étant plutôt intuitive et inspirationnelle que rationnelle et maîtrisable :

> « Les travaux de la comportementaliste américaine Jane Darke, sur ce qu'elle appelle le "générateur primaire" [qui] repose sur le constat empirique d'un processus d'exploration dans lequel s'effectue un dialogue réflexif avec la situation. Cette thèse, désormais acceptée par de nombreux auteurs, met en évidence un déclencheur à l'origine d'un processus heuristique. Elle contredit les représentations du processus qui commencent par une spécification exhaustive du problème et une analyse de la situation, puisqu'ici les solutions a priori permettent de structurer la perception même de la situation. […] le générateur primaire correspond à un objectif initial que l'architecte s'impose, une hypothèse qui dépend beaucoup plus d'un jugement de valeur que d'un raisonnement " rationnel ". S'appuyant sur des études de cas, Darke propose d'adopter un modèle composé d'une succession de trois phases : une phase de génération, une phase de conjecture et une phase d'analyse. » (Chupin, 2000, p. 80)

Chupin explique le rôle majeur des premières phases d'idéation d'où ressortent les idées fondatrices formant la matrice et la dynamique du projet. Darke propose d'inscrire cette première étape du générateur primaire dans un cycle aussi constitué de deux autres étapes : le développement hypothétique suivi d'une phase réflexive et analytique qui constitueraient trois étapes majeures de conception. Antérieurement, le fondateur du Lincoln Laboratory du MIT, pionnier de l'informatique graphique dédiée à la conception et auteur des patchs[12] géométriques qui portent son nom, Steven Coons, figure fondatrice du domaine de l'informatique dédiée à la conception, évoquait déjà de telles boucles :

> «It's typical of the design process that such iterations - from concept, through analysis , evaluation of the analysis, decision to modify the concept, and finally to a new concept - form

[11] Chupin signale à ce titre une recherche de Robert Prost (Prost, 1991)
[12] Le patch de Coons est une méthode de construction d'une surface basée sur un contour donné, lorsque celui-ci est formé de 4 arcs de courbe. Source http://rocbor.net/Product/surf/CoonsPatch.htm

> loops that are traversed again and again , until eventually the designer judges the design adequate to satisfy some scale or scales of value judgments» (Coons, 1963, p. 300) [13]

Mais Nigel Cross suggère que le générateur primaire joue un rôle clé dans le processus de délimitation du problème de conception, ou espace de problème, qui est une tâche particulièrement difficile en conception où la définition de ce problème parait fragile. Le générateur primaire semble alors constituer une sorte de clé permettant d'enclencher le processus de conception et notamment la phase de problématisation :

> « It is only in terms of a conjectured solution that the problem can be contained within manageable bounds. What designers tend to do, therefore, is to seek, or impose, a 'primary generator ' which both defines the limits of the problem and suggests the nature of its possible solution. In order to cope with ill-defined problems, the designer has to learn to have the self-confidence to define, redefine and change the problem-as-given in the light of the solution that emerges from his mind and hand » (Cross, 1982, p. 224) [14]

Ces aspects de structuration et de résolution de problème de conception seront approfondis dans des sections ultérieures (Cf. section 1.2). Nous pouvons nous interroger sur l'adéquation d'une telle description séquentielle et cyclique de ces phases pour parler de conception architecturale. Dans son ouvrage *L'analogie ou les écarts de genèse du projet d'architecture*, Chupin (2000) rend compte d'autres travaux anglo-saxons dans le domaine des sciences de conception depuis les années soixante, détaillant notamment trois modèles majeurs. Le premier modèle, le plus créatif, est celui de la boite noire (*black box*) qui est l'approche d'amorçage, supposé « magique ». Le deuxième modèle est celui de la boite de verre (*glass box*) correspondant à l'approche formalisatrice et descriptive. Le troisième modèle est réflexif par rapport aux deux précédents, selon un principe que Chupin qualifie de « système auto-organisateur » (*self-plus-situation designer*) d'après une intuition de Jones. Chupin les décrit ainsi :

> «1 - L'image du « black box designer » concerne la problématique de l'invention, de créativité ou si l'on préfère de l'heuristique. Elle interroge tout ce qui met enjeu les processus de genèse.
> 2 - L'image du « glass-box designer » pointe vers la question de la représentation (figurale et discursive) et plus précisément vers tout ce qui met enjeu le déploiement des processus de mise en forme
> 3 - Quant à l'image du « self-plus-situation designer », elle correspond clairement à tout ce qui concerne le développement des processus de validation critique (ou d'analyse rétrospective et réflexive). » (Chupin, 2000, p. 84)

[13] « C'est typique du processus de conception que de telles itérations - du concept, en passant par l'analyse, l'évaluation de l'analyse, la décision de modifier le concept et, finalement, la décision de créer de nouvelles boucles de forme conceptuelle que l'on traverse encore et encore, jusqu'à ce que, finalement, le concepteur juge la conception adéquate pour satisfaire une échelle ou des échelles de jugements de valeur » Trad.Gouezou

[14] « « Ce n'est qu'en termes de solution conjecturale que le problème peut être contenu dans des limites gérables. Ce que les concepteurs ont donc tendance à faire, c'est de rechercher ou d'imposer un " générateur primaire " qui à la fois définit les limites du problème et suggère la nature de sa solution possible. Pour faire face à des problèmes mal définis, le concepteur doit apprendre à avoir la confiance en soi pour définir, redéfinir et changer le problème, tel qu'il est donné, à la lumière de la solution qui émerge de son esprit et de sa main ". » Trad.Gouezou

Nous retenons ici que les phases de conception sont soit un travail inspirationnel d'idéation (« *black box designer* »), soit un travail de formalisation de description par leur représentation graphique (*glass-box designer*), ou bien demandent un travail réflexif d'auto-validation des hypothèses de conception. Ce concept « introspectif » du self-plus-situation décrirait le concepteur qui peaufine à la fois sa conception et ses propres méthodes (Chupin, 2000, p. 84). Chupin prend soin de préciser que ces phases d'amorçage, de formalisation et de validation ne se suivent pas séquentiellement, contrairement à la proposition trop circulaire et séquentielle de Darke, mais s'interpénètrent différemment selon les besoins, selon des enchevêtrements « fractals ». Il entend par là que leurs motifs d'application s'enchainent à différentes échelles et selon un ordre circonstanciel presque impossible à modéliser tant les échelles de focalisation varient. Philippe Boudon, qui a produit une épistémologie de la conception architecturale nommée Architecturologie était fondée sur vingt échelles architecturologiques pour désigner l'enchevêtrement des focalisations selon les points de vue adoptés par le concepteur et pouvant justifier de la formalisation et du dimensionnement d'architectures. L'architecturologie est liée à la pensée d'Herbert Simon - père des sciences de l'artificiel – auteur que Boudon a découvert grâce à Jean-Louis Le Moigne :

> « La rencontre, ultérieure, à travers les travaux de Jean-Louis Le Moigne, de l'hypothèse de sciences de la conception formulée par Herbert Simon, m'a permis de mieux comprendre la nature des difficultés épistémologiques qu'introduit le mot de conception. En soulignant qu'à côté des sciences de la nature et des sciences humaines s'imposerait de constituer un domaine concernant la production d'artefacts par l'homme, H. Simon nous fait, dans le fond, comprendre (même s'il vise quant à lui des domaines souvent éloignés de l'architecture) qu'il y a sans doute quelques raisons à l'absence, jusqu'ici, d'un domaine de connaissance relatif à l'architecture. Il en notera d'ailleurs ultérieurement l'intérêt potentiel. Un des enjeux épistémologiques majeurs de la conception est son antinomie relative à l'analyse. Celle-ci est, presque de façon classique, érigée en méthode scientifique, au point que ce qui n'en procède pas se trouve supposé exclu de toute recherche de nature scientifique. Or reconnaître la conception comme objet possible de savoir c'est admettre qu'elle puisse donner lieu à d'autres types d'investigation que ceux de l'analyse. » (Philippe Boudon, 2003a, p. 13)

Conscient de sa dette envers l'américain, notamment sur l'émergence et la consolidation des sciences de conception distinctes des sciences d'analyse classiques, Boudon nuance quand même certaines idées de Simon concernant l'architecture :

> « reconnaître la conception comme objet possible de savoir c'est admettre qu'elle puisse donner lieu à d'autres types d'investigation que ceux de l'analyse. Il reste que l'idée de conception telle qu'elle apparaît chez Simon a une valeur générale qui transcende les différences entre arts et même entre arts et sciences. Pour lui, l'architecte est un concepteur au même titre que le sont le musicien, l'ingénieur ou le gestionnaire. Or la conception architecturale telle que je l'ai envisagée se donne pour différente en ce qu'elle part de ce qui semble faire spécifiquement problème pour l'architecte, à savoir la conception de l'espace (les questions de mesure et d'échelle en procédant) ce qui institue ce que j'ai appelé l'espace de conception comme objet de l'architecturologie. Mais plutôt que de voies opposées il s'agit là, je pense, de voies complémentaires. Car l'architecte partage sans doute avec d'autres « concepteurs », le

> musicien, l'ingénieur, des problèmes communs ou du moins de même type, mais pour une part seulement. » (P. Boudon, 2003, p. 13)

On voit que Boudon, comme Le Moigne, récuse l'approche *analytique* au profit de l'approche systémique. On voit aussi que Boudon invoque la nature sensible et personnelle de la conception architecturale qui s'attache à la conception d'espaces architecturaux pour se démarquer de l'approche trop « rationnelle » de Simon, qui semble réduire la conception architecturale à du « *problem solving* », et postulant que tout problème architectural peut être structuré. De façon analogue, Chupin reconnaitra le lègue de Simon tout en discutant sa thèse des problèmes mal structurés (*ill structured problems)* que nous approfondirons dans la section suivante :

> « Herbert Simon a publié en 1973 dans le magazine « *Artificial Intelligence*» : un article […] intitulé: " *The Structure of ill-Structured Problem*s " qui défend une conception interdisciplinaire et paradoxale de la notion de problème. La lecture attentive de Simon montre que non seulement il ne considère pas les problèmes de conception comme des problèmes "fragiles" ou "pernicieux" (*wicked*), mais que, selon lui, il n'existe pas de problème qui ne puisse être structuré : pour Simon il s'agit tout simplement d'une formule résiduelle dont il faut se départir impérativement. » (Chupin, 2000, p. 78)

Selon Chupin, s'il est encore possible de parler de méthodes de conception architecturale, il serait presque impossible de parler de modèle : il y aurait donc des manières communes de faire ou des parentés entre les architectes ou entre les projets mais presque qu'aucune possibilité d'édicter des règles communes. Dans le même esprit, Chupin a mentionné quelques travaux utiles à la discussion de la thèse des problèmes mal structurés (*ill-structured problems*) de Simon (Simon, 1969) qui semblait considérer que tout problème pouvait être structuré. Une formule alternative, plus nuancée et plus amène envers les problèmes de conception architecturale est désignée par le terme de problèmes pernicieux (*wicked problems*), formule forgée par Horst Rittel et Melvin Webber (Rittel and Webber, 1973) puis reprise par Richard Buchanan (Buchanan, 1992) tentant de les définir :

> «Les problèmes pernicieux appartiennent à une classe de problèmes sociaux qui sont mal formulés, dans lesquels l'information est déroutante, […] Selon Buchanan, cette description […] pointe en direction de la relation cruciale (pour une théorie de la conception), entre ce qui est déterminable et ce qui ne l'est pas. Cependant il ne faut pas confondre l'indéterminable avec ce qui est encore indéterminé. Pour Buchanan, le modèle linéaire de la conception est fondé sur des conditions définies. La tâche du concepteur consiste à identifier les conditions pour ensuite calculer une solution […] dans la thèse des «wicked-problems » [de Rittel], il y a la reconnaissance d'une indétermination qui est au cœur même de la singularité de chaque « wicked-problems » (Chupin, 2000, p. 80)

Si nous interprétons correctement les propos de Chupin, nous pourrions parler d'un glissement dans la manière de considérer les problèmes en conception architecturale, partant d'un postulat intransigeant de Simon considérant que rien ne peut échapper au processus de détermination dans la structuration d'un problème, à une approche moins absolue de Rittel et Webber, puis

Buchanan, semblant admettre une part incompressible d'indétermination des problèmes « pernicieux » architecturaux : l'architecte devant travailler autant avec ce qu'il parvient à déterminer qu'avec le reste. Ensuite, Chupin sélectionne certains des dix critères de ces *Wicked Problems* de Rittel et Webber, et il nous semble que la sélection de Chupin serait liée à une nature ambigüe des idées et concepts architecturaux :

> « Buchanan cite à nouveau Rittel qui avait identifié pas moins de dix caractéristiques pour décrire ces problèmes pernicieux. Parmi celles-ci mentionnons" :
>
> 1 — le fait que l'on ne peut en faire aucune formulation définitive mais que chaque formulation correspond à une solution ;
>
> 3 — le fait que les solutions ne sont jamais vraies ou fausses mais bonnes ou mauvaises ;
>
> 5 — le fait que chaque explication dépend de la vision du monde « Weltanschauung » du concepteur :
>
> 9 — le fait que chaque problème est unique.
>
> Pour Buchanan, la thèse des « *wicked problems*» correspond finalement beaucoup plus à la description de la réalité sociale de la conception, qu'au commencement d'une théorie de la conception fondée sur des bases solides. L'objet de la conception n'est limité que par la propre représentation que le concepteur peut en avoir, et selon Buchanan, contrairement aux disciplines scientifiques - dont les principes, les lois et les règles sont intrinsèques liés aux objets d'étude - les principes de la conception ne peuvent être séparés des intentions et encore moins des préconceptions du ou des concepteurs. » (Chupin, 2000, p. 80)

Comme Chupin, Boudon ne semble pas partager l'idée de Simon que tout problème architectural peut être structuré, affirmant en cela une singularité architecturale qui a pu échapper à Simon, singularité qui pourrait être liée à son caractère ambigu pointé par Venturi[15], chaque objet d'étude présentant, en Architecture, des problèmes spécifiques en soi et propre du point de vue du concepteur. Nous retrouvons là l'idée préalablement exposée par Chupin :

> « selon Buchanan, contrairement aux disciplines scientifiques - dont les principes, les lois et les règles sont intrinsèques aux objets d'étude- les principes de la conception ne peuvent être séparés des intentions et encore moins des préconceptions du ou des concepteurs […] » (Chupin, 2000, p. 80)

Nigel Cross reprend ces diverses caractérisations des problèmes de conception qui échappent à leur information exhaustive et ne visent pas la production d'une connaissance ou l'établissement d'une vérité scientifique, mais visent un résultat par une solution satisfaisante (l'expression est de Simon) :

> « It is also now widely recognized that design problems are ill-defined, ill-structured, or 'wicked '. They are not the same as the 'puzzles' that scientists, mathematicians and other scholars set themselves. They are not problems for which all the necessary information is, or ever can be, available to the problem-solver. They are therefore not susceptible to exhaustive analysis, and there can never be a guarantee that 'correct' solutions can be found for them. In this context a solution-focused strategy is clearly preferable to a problem-focused one: it will always be

[15] Cf. le concept du "à la fois" de Venturi exposé par Boudon, Cf. section 3.1.2

> possible to go on analysing 'the problem', but the designer's task is to produce 'the solution'. » (Cross, 1982, p. 224) [16]

Chupin relève chez Buchanan ce point de vue contradictoire à la thèse des problèmes mal structurés d'Herbert Simon, en lui opposant que certains problèmes restent indéterminables et que l'activité de conception en Architecture serait trop « humaine », éminemment intentionnelle, trop pour pouvoir être considérée comme totalement scientifique ou objectivable. Le Moigne, qui a traduit Simon en français, tout en produisant l'exégèse de sa pensée, explique les caractéristiques des sciences de la conception. Selon lui, « *toutes les facultés de l'intelligence humaine* » trouvent une meilleure méthode scientifique dans l'approche *systémique* par *projet* que dans l'approche analytique classique par objet :

> « [La] pratique par l'Analyse (ou la Modélisation Analytique) a consisté à réduire la complexité perçue des phénomènes en examen, à une complication (voire à une hyper-complication), tenue par hypothèse pour potentiellement décomposable en éléments déclarés simples, présumés objectifs, c'est-à-dire indépendants du sujet qui décrit le phénomène ainsi isolé et interprète le modèle ainsi établi. Les quatre brefs préceptes du discours cartésien (1637), et en particulier le 2°, qui légitime le réductionnisme (" *en autant de parcelles qu'il se pourrait* "), et le 3°, qui légitime le déterminisme (par " *longues chaînes de raisons toutes simples*") caractérisent explicitement ce paradigme fondateur des Sciences d'Analyse, établi sur un idéal de simplification de la connaissance scientifique. » (Le Moigne, 2001, p. 2)

Si ces propos disconviennent aux philosophes défendant la pensée de René Descartes, nous retenons l'intérêt des attaques de Le Moigne en ce qu'elles permettent de pointer ce qui, dans la rigueur de la méthode scientifique classique supposée cartésienne, fait obstacle aux processus inventifs, et justifie l'émergence des sciences d'*ingenium* ou conception:

> « Le paradigme vicéen de l'Ingenium ou de la conjonction s'est formé et s'est développé par la conceptualisation de la rhétorique et de la topique aristotélicienne, avant de s'établir par les sciences du génie ou de l'ingegno, d'abord dans les pays méditerranéens, puis des sciences de " design " (conception) dans les cultures anglo-saxonnes. Faute de trouver un mot satisfaisant pour traduire le mot latin " Ingenium " en français (les dictionnaires le traduisent très improprement par " Esprit "), G. Vico (dès 1710) et ses successeurs proposeront de franciser la locution latine. On est ainsi conduit à désigner sous le nom de SCIENCES D'INGENIUM les disciplines scientifiques construites au sein de ce paradigme. » (Le Moigne, 2001, p. 2)

Contextualisée, la modélisation systémique semble permettre de concilier la production de connaissance et l'invention d'artefacts. Le cheminement de la pensée du concepteur semble suivre des voies intuitives guidées selon les intentions du concepteur :

[16] « « Il est aussi maintenant largement reconnu que les problèmes de conception sont mal définis, mal structurés ou " méchants ". Ils ne sont pas les mêmes que les " énigmes " que les scientifiques, les mathématiciens et les autres universitaires se posent eux-mêmes. Il ne s'agit pas de problèmes pour lesquels tous les renseignements nécessaires sont, ou pourront jamais être, à la disposition de celui qui résout les problèmes. Ils ne sont donc pas susceptibles de faire l'objet d'une analyse exhaustive et il ne peut jamais y avoir de garantie que des solutions " correctes " puissent leur être apportées. Dans ce contexte, une stratégie axée sur la solution est clairement préférable à une stratégie axée sur le problème : il sera toujours possible de continuer à analyser "le problème", mais la tâche du concepteur est de produire "la solution". » Trad.Gouezou

> « Leur pratique par l'Ingenium (la Modélisation et plus généralement l'Ingénierie Systémique) vise à relier intentionnellement (par projet) le phénomène perçu complexe à ses contextes, en le décrivant par des actions (" trans-forme-action ") ou des processus s'exerçant dans le temps. Autrement dit à assumer sans l'épuiser son irréductible complexité perçue intelligiblement par le modélisateur. Au lieu de se présenter comme « objective » la modélisation-interprétation systémique se présente comme « projective ». (« La méditation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet. ». S. Bachelard), les modèles s'entendant comme des « projections » plausibles et interprétables du phénomène perçu complexe. « L'ingenium », rappelait G. Vico, est cette étrange faculté de l'esprit humain qui est de relier…Il a été donné aux humains pour comprendre, c'est-à-dire pour faire » (Le Moigne, 2001, p. 2)

Là où les sciences d'analyse classiques bénéficient du caractère tangible de l'objet qu'elles doivent étudier, les sciences de conception doivent procéder autrement : en l'absence d'objet à étudier, elles reposent sur le concept de projet pour pouvoir inventer « *ce qui n'existe pas encore* ». Le projet peut ainsi être vu comme le supplétif de l'objet absent. La modélisation systémique correspond mieux à la dynamique projectuelle prise entre l'état existant et l'état désiré, l'attention du concepteur y est focalisée sur les fonctions de son système et non sur ce les objets qui le compose :

> « dans la présentation analytique de l'encyclopédie[17], on ne parvient pas à comprendre comment ça marche, et je vous mets au défi d'assembler ces 200 pièces de telle façon que cet assemblage puisse tisser des bas. Une illustration spectaculaire de la différence entre la *modélisation analytique* (qui privilégie les composants) et la *modélisation systémique* ou le *disegno* (qui privilégie les fonctions à assurer). Autrement dit, c'est la façon de le représenter qui engendre l'intelligibilité. On prend alors conscience de l'importance d'un mode de représentation qui contextualise le dessein : on veut faire quoi, dans quoi, pour quoi ? C'est ici que le *disegno* Léonardien, va légitimer pratiquement l'interdisciplinarité caractérisant les connaissances que nous souhaitons produire et enseigner. » (Le Moigne, 2002, p. 8)

Le Moigne semble parler du projet comme d'un système de production de connaissance dénué d'objet qui oblige à « relier » plutôt que « séparer » les parties de ce « système » par les moyens de représentation. Les domaines de la conception auraient donc une modalité propre de production de connaissances qui serait le « projet » dont une caractéristique majeure serait d'établir des liens entre divers éléments selon différents niveaux de cohérence par des moyens de représentation. Face aux difficultés de définir ce que serait la conception architecturale, nous évoquons le caractère empirique du processus de conception telles que Donald Schön a pu les décrire. Les connaissances requises pour l'invention surviennent dans l'action de conception (*knowing in action*), ce qui éclaire le rôle du projet comme supplétif de l'objet absent, et celui de la représentation comme support graphique à l'idéation.

1.1.2. L'approche par projet

[17] Diderot et D'Alembert. NDLR

Après avoir vu qu'une idée génératrice, sa formalisation et son analyse critique et réflexive constituent trois états d'esprit majeurs du concepteur, nous voulons détailler la notion de projet architectural en commençant par sa progressivité. Le mode essai-erreur serait le ressort majeur de l'idéation qui correspondrait une séquence « voir/dessiner/voir » (*seeing/drawing/seeing*) (Schön, 1991, p. 7). Donald Schön et Glenn Wiggins (1992) suggèrent que la commodité du projet de conception correspond à un mouvement itératif de pensée prenant en charge la complexité inhérente à la situation de conception, justifiant cette avancée pas-à-pas du processus de conception par la formule « voir-avancer-voir » (*seeing-moving-seeing*) :

> « When we design, we deal with many domains and many qualities within domains; our moves produce important consequences in more than one domain. In the extreme case, a move informed by an intention formulated within one domain has consequences in all other domains. Because of our limited information processing capacity, we cannot, in advance of making a particular move, consider all the consequences and qualities we may eventually consider relevant to its evaluation. Herbert Simon [[18] NDLR] introduced this idea into the theory of designing » (Schön and Wiggins, 1992, p. 143) [19]

Cette progressivité des démarches d'explorations illustre la complexité des tâches de conception pour lesquelles les intuitions conduisent à des tentatives aux conséquences partiellement inconnues et non-maîtrisées. Les problèmes ainsi posés par un projet donné sont originaux, nécessitant non pas l'application de connaissances et méthodes préexistantes mais l'invention, au fil de l'eau, de solutions qui supposent une aptitude à formuler et à reformuler le problème jusqu'à ce que ce ressort de la problématisation dynamise le processus de conception. Ainsi, si la conception architecturale peut prétendre être une activité créative, elle le serait en regard du système de contraintes qui s'appliquent au projet comme l'occupation des sols, les demandes programmatiques, les normes de sécurités, les techniques de construction, etc. La manipulation et la reconfiguration des contraintes les conduisent à intégrer le processus, contribuant ainsi à l'originalité de la proposition architecturale. Face à Herbert Simon décrivant le problème architectural comme un « problème mal structuré » (*ill-structured problem*) (Simon, 1969), Terry Purcell et John Gero (1998) commentent les recherches de Schön et Wiggins (Schön and Wiggins, 1992) sur la progressivité de la conception architecturale (*seeing/drawing/seeing*) qui révèle des facettes inédites du problème, découvertes progressives également pointées par Gabriela Goldschmidt voyant la conception comme un dialogue réflexif entre deux points de vue, l'un analogique « voir comme » (*seeing as*) et l'autre analytique « voir que » (*seeing that*) (Goldschmidt, 1991a). Il y a plus ici une manière de voir un problème donné qu'une volonté de déterminer ce problème. Purcell et Gero relève ensuite dans les travaux de

[18] (Simon, 1969)

[19] « Lorsque nous concevons, nous traitons de nombreux domaines et de nombreuses qualités à l'intérieur d'un domaine ; nos mouvements produisent des conséquences importantes dans plus d'un domaine. Dans le cas extrême, un mouvement éclairé par une intention formulée dans un domaine a des conséquences dans tous les autres domaines. En raison de notre capacité limitée de traitement de l'information, nous ne pouvons pas, avant de prendre une décision particulière, considérer toutes les conséquences et les qualités que nous pourrions éventuellement juger pertinentes pour son évaluation. Herbert Simon a introduit cette idée dans la théorie du design. » Trad.Gouezou

Vinod Goel, et notamment ses observations faites au cours de ses protocoles expérimentaux les caractéristiques du « problème mal structuré » en conception architecturale :

> « design in contrast to the solving of well-defined problems involved personal stopping rules and evaluation functions; few developments of a design involved deductive reasoning; changes were made to the problem constraints as given the problem was structured into many modules with few interconnections; the designer has flexibility in determining how the problem was decomposed into modules and how they were connected; design involved incremental development of the artifact with limited commitment to any particular facet of the proposal but with propagation of the commitments that were made through the design process; problem structuring was distinct from problem solving and involved a quite high proportion of the design session; the design process involved several distinct problem solving phases (preliminary design, refinement and detail design); the design process involved manipulating two abstraction hierarchies— one involved the level of generality or detail associated with the problem solving phases and the other categories of design development that were considered during the process (people, purposes, behavior, structure and function). » (Purcell and Gero, 1998, p. 394) [20]

Si nous devions résumer ce qui distingue la conception architecturale concernant les tâches de résolution de problème selon Goel, nous dirions que la conception architecturale fonctionne en mode essai-erreur relativement personnel peu lié au raisonnement déductif, le problème posé est reformulé et les contraintes sont interprétées, le problème est segmenté en parties disjointes qui sont réarrangées à loisir, les choix du concepteur l'emportent parfois sur les contraintes, la problématisation (*problem structuring*) est une activité importante, la nature de la résolution de problème change selon le niveau de détail, les hiérarchies des problèmes et des sémantiques sont distinctes. Ces points inciteraient à parler de processus d'appropriation des problèmes et des contraintes de conception par une stratégie personnelle de sémantisation qui fonde le projet. Le travail de problématisation semblerait particulièrement impliqué dans cette sémantisation du projet architectural au point de distinguer la conception architecturale des autres domaines de conception (e.g ingénierie), ce que Vinod Goel impute justement à la nature de problème mal structuré (Goel, 1995) :

> «In the *preliminary design phase*, alternative solutions are generated and explored. Alternative solutions are neither numerous nor fully developed when generated. They emerge through the

[20] « La conception par opposition à la résolution des problèmes bien définis impliquaient des règles d'arrêt personnelles et des fonctions d'évaluation ;
peu de développements d'une conception impliquaient un raisonnement déductif ;
des changements ont été apportés aux contraintes du problème telles qu'elles ont été données
le problème était structuré en plusieurs modules avec peu d'interconnexions ;
le concepteur a les latitudes pour déterminer comment le problème a été décomposé en modules et comment ils ont été connectés ; la conception comportait l'élaboration progressive de l'artefact avec un engagement limité à l'égard d'un aspect particulier de la proposition, mais avec la propagation des engagements qui ont été pris au cours du processus de conception la structuration des problèmes était distincte de la résolution de problèmes et impliquait une proportion assez élevée de la séance de conception le processus de conception a comporté plusieurs phases distinctes de résolution de problèmes (conception préliminaire, refinement et conception détaillée)
le processus de conception comportait la manipulation de deux hiérarchies abstraites - l'une concernait le niveau de généralité ou de détail associé aux phases de résolution des problèmes et les autres catégories d'élaboration de la conception qui ont été prises en compte pendant le processus (personnes, buts, comportement, structure et fonction). »

> incremental transformations of a few kernel ideas […]. These kernel ideas are solutions to *other* problems the designer has encountered, or more generally, ideas and images from the subject's life experience. When these "solutions" are brought into the problem space, they are, not surprisingly, out of context or in some way inappropriate and need to be modified to constitute solutions to the present problem. » (Goel, 1995, p. 125) [21]

Goel emploie l'expression d'idée-noyau (*kernel idea*) (Cf. note [21]) comparable au générateur primaire de Darke mais différent en ceci qu'il vient d'ailleurs, notamment de l'expérience du concepteur confronté à d'autres problèmes sur de précédents projets pouvant servir de référence pour établir une stratégie de conception propre au projet en cours. Dans ce sens, l'idée-noyau de Goel évoque les portions de modèles (*pattern*) proposés par Christopher Alexander comme l'identification d'un cas de figure apparenté fournissant une base au projet, les solutions alternatives émergeant incrémentalement à partir de ces quelques idées-noyau issues de l'expérience de l'architecte. L'approche empirique d'Alexander de synthèse de la forme (Fernandez, 2002, p. 114) consiste dans la découpe d'une situation de conception en sous problème plus petits et plus faciles à maîtriser puis assemblés progressivement à un niveau restreint. Chez Goel aussi, le processus de conception semble relativement imprédictible et impossible à généraliser ou à modéliser. L'architecte étant à chaque nouveau projet confronté à un nouveau programme et à un nouveau contexte, de nouveaux problèmes et contraintes, la conception architecturale semble être condamnée à une forme d'originalité qui expliquerait les difficultés à le modéliser dès ses phases d'amorçage. La phase d'idéation[22] désignant l'action d'idéer et de conceptualiser, reste une phase essentielle du projet d'où en émergent les idées fondatrices, considérées parmi d'autres, évaluées pour leur potentiel (Boudhraâ et al., 2019, p. 1). Elles proviennent des expériences passées, convoquées et adaptées par incréments selon le nouveau projet et peut produire de nouvelles connaissances adaptées à la situation originale. Schön invoque cette originalité pour justifier son concept de « connaissance dans l'action » (*Knowing in action*) qui caractérise les démarches exploratoires du concepteur. Pour comprendre la situation à laquelle il est confronté et la problématiser correctement, et ce de façon particulièrement explicite lorsqu'il y a des enjeux pédagogiques, l'architecte compose une théorie propre au projet :

> «Because each practitioner treats his case as unique, he cannot deal with it by applying standard theories or techniques. In the half hour or so that he spends with the student, he must

[21] « Au cours de la phase de conception préliminaire, des solutions de rechange sont élaborées et explorées. Les solutions alternatives ne sont ni nombreuses ni pleinement développées une fois générées. Elles émergent à travers les transformations incrémentales de quelques idées-noyau […]. Ces idées-noyau sont des solutions à d'autres problèmes que le concepteur a rencontrés, ou plus généralement, des idées et des images issues de l'expérience de vie du sujet. Lorsque ces " solutions " sont introduites dans l'espace du problème, il n'est pas surprenant qu'elles sortent de leur contexte ou qu'elles soient inappropriées d'une manière ou d'une autre et doivent être modifiées pour constituer des solutions au problème actuel. » Trad.Gouezou

[22] Selon la définition du CNRTL, « Étymol. et Hist. 1870 (Th. Ribot, Psychologie anglaise, p. 345 ds Littré Suppl.). Dér. du rad. de idéer*; suff. -(a)tion* d'apr. l'angl. ideation « *formation et enchaînement des idées », terme créé en 1829 par le philosophe J. Mill [1773-1836] (v. NED).* » Qui aurait comme synonyme idéer ou conceptualiser. Au cours de nos recherches, nous avons retrouvé fréquemment ce terme dans les domaines de la conception comme dans les domaines des STIC.

> construct an understanding of the situation as he finds it. And because he finds the situation problematic, he must reframe it. » (Schön, 1983, p. 129) [23]

Ces connaissances semblent ne pouvoir être acquises qu'empiriquement, par le biais du *studio* ou atelier de projet. Philippe Boudon et son équipe, ont pourtant produit une épistémologie de la conception architecturale, l'Architecturologie, sur les bases communes disponibles mais a convenu que l'hétérogénéité des sources d'inspiration sont telles qu'il devient ardu d'y détecter une récurrence analysable et modélisable, restant propres au projet :

> «Pour un architecte tout est susceptible de devenir référence. La mise en œuvre de la conception dans un projet se nourrit de toutes sortes de données potentielles. Ces données, l'architecte les tire du programme qui lui est proposé, du site, d'objets avoisinants, mais aussi de l'histoire de l'architecture, d'une image vue dans un film ou d'une rencontre aléatoire. Chaque référence peut ainsi provenir d'un domaine infiniment vaste et, d'une certaine manière, offre un caractère de singularité peu accessible à la connaissance. » (Boudon et al., 1994, p. 106)

Citons une note de Philippe Boudon commentant la réédition de l'ouvrage de Robert Venturi *De l'ambiguïté en architecture,* notamment sa formule « la dure obligation du tout» caractéristique de la complexité des tâches de conception, et qui conduit Boudon à rapporter la pensée de Venturi à celle de Simon :

> « Que Robert Venturi, pour étayer un de ses chapitres portant sur la "dure obligation du tout", cite la définition d'un système complexe par Herbert Simon "un grand nombre de parties qui agissent les unes sur les autres selon des voies multiples" n'étonnera pas […], ne fait qu'entériner la conjonction d'une interrogation sur la conception en général, et sur la conception architecturale en particulier, qui devrait intéresser tout lecteur porté à la fois sur la complexité en général et sur la complexité en architecture particulièrement. On sait la place que tient... à la fois... le "phénomène du à la fois" chez Venturi, qui y consacre un chapitre, et chez Jean-Louis Le Moigne, dans l'importance qu'il attache à la conjonction et à la critique du tiers exclu. Plus qu'un autre peut-être le livre de Venturi présente les objets architecturaux comme des objets multiples. Voire, si l'on fait opérer le concept architecturologique de surdétermination, comme des multi-objets, selon l'expression d'Yves Barel. » (Philippe Boudon, 2003b)[24]

Selon Boudon, la formule de Venturi renseigne sur la nature « ambigüe » du projet, car elle désigne la nécessité d'y intégrer, en des focalisations multidimensionnelles, une litanie de problèmes complexes, multidimensionnels et souvent contradictoires qu'il faut pourtant considérer « à la fois » et mettre en cohérence au sein du *projet*. La responsabilité d'apporter une solution ou une réponse aux problèmes complexes du *projet*, et de sublimer ces contraintes par la vision dont nous parlions ne pourrait logiquement incomber qu'aux architectes, en tant qu'ils sont chargés de délibérer. Dans le cadre d'un projet architectural, il semble difficile de

[23] « Parce que chaque praticien traite son cas comme unique, il ne peut pas le traiter en appliquant les théories ou techniques standard. Dans la demi-heure qu'il passe avec l'élève, il doit construire une compréhension de la situation telle qu'il la trouve. Et parce qu'il trouve la situation problématique, il doit la restructurer » Trad.Gouezou

[24] http://www.intelligence-complexite.org/fr/cahier-des-lectures/recherche-dune-note-de lecture.html?tx_mcxapc_pi1[action]=noteDetail&tx_mcxapc_pi1[idNote]=110. Consulté le 21 juillet 2018.

suivre la pensée de l'architecte tant son activité cognitive est versatile, influencée par quantité d'images et de références, et semble ramifiée, proliférante au point d'être rétive à sa description. Chupin convient des difficultés apparentées à faire une épistémologie de la conception architecturale qu'il décrit comme pouvant être aussi partageable qu'elle peut être personnelle :

> « S'il y a un paradoxe initial de la conception, c'est certainement donc qu'un projet peut très bien se déployer dans la pertinence la plus collective comme dans l'incongruité la plus intime. La dynamique analogique permet d'abord et avant tout de transcender inaccessibilité et l'indéterminable, elle autorise tous les écarts de genèse du projet. S'il n'est donc pas forcément souhaitable de saisir "*in vivo*" le phénomène de la conception architecturale, ou même dans l'accumulation exhaustive de documents, et si l'ambition d'une approche génétique ne doit pas forcément coïncider avec celle d'une méthodologie, il n'en reste pas moins que l'étude des innombrables circularités et des particularismes analogiques de la pensée architecturale est un champ d'exploration très largement en friche. » (Chupin, 2000, p. 88)

La singularité et les intrications des problèmes architecturaux, la difficulté résultante à déterminer la nature d'un problème donné, probablement lié à sa nature ambiguë [25], priverait la conception architecturale des motifs observables (*pattern*) qui permettraient l'énonciation de ses règles intrinsèques, d'en déduire des modèles généraux et, au-delà, freine toute tentative de théorisation scientifique. Nigel Cross commente la nature ambigüe et même hasardeuse de la conception architecturale :

> « L'incertitude de la conception nourrit à la fois la frustration et la joie que le concepteur trouve dans son travail ; il a appris à vivre dans cette réalité : la conception est ambiguë. Le concepteur génère des premières tentatives de solutions, mais il laisse ouvert le champ du possible le plus longtemps possible; il est prêt à considérer des solutions provisoires comme nécessaires, quoiqu'imprécises et souvent peu concluantes. » (Cross, 2002, pp. 40–41)

Cette ambiguïté n'empêche pas de rechercher des répétitions de cas pouvant faire évoquer un modèle. Notons l'intérêt de quelques démarches allant dans ce sens et restreignant l'échelle des modèles à l'échelle empirique du projet architectural. Cette notion de *pattern* était centrale dans les travaux de l'architecte et mathématicien américain Christopher Alexander qui cherchait à proposer une base partageable d'un possible langage architectural. D'un certain point de vue, on pourrait considérer qu'Alexander propose une « grammaire » de solutions consistant en un éventail de fragments de modèles dont la combinaison originale se rapprocherait plus des besoins spécifiques du concepteur confronté à un moment particulier, à un problème original, c'est-à-dire un projet. Séparables en sous-problèmes plus petits plus facilement et rationnellement appréhendables, ces fragments de modèle permettaient d'appréhender la complexité spécifique d'un projet à l'aide d'une base de solutions exemplaires, ouvertes et combinables correspondant à différentes familles de problèmes de conception identifiables. Alexander semblait viser la constitution d'un « langage » combinant à l'infini ces motifs, se

[25] Cf. le titre du livre de l'architecte Robert Venturi « *De l'ambiguité en architecture* » où il exprime notamment la nature ambivalente des problèmes architecturaux sous le concept du "à la fois". Nous rencontrerons cette notion à d'autres nombreuses occasions

limitant à un grain de généralisation « raisonnable », une échelle de *pattern* circonscrite à la conceptualisation d'un problème ou à une théorie limitée à un projet donné :

> «There are two essential purposes behind this format. First, to present each pattern connected to other patterns, so that you grasp the collection of all 253 patterns as a whole, as a language, within which you can create an infinite variety of combinations. Second, to present the problem and solution of each pattern in such a way that you can judge it for yourself, and modify it, without losing the essence that is central to it. » (Alexander, 1977, p. XI)[26]

Face aux problèmes de traductions, nous pourrions proposer faire correspondre au terme *pattern* celui de modèle typique, ou bien fraction de modèle ou encore modèle restreint dont la valeur réside dans la limitation :

> «The fundamental philosophy behind the use of pattern languages is that buildings should be uniquely adapted to individual needs and sites; and that the plans of buildings should be rather loose and fluid, in order to accommodate these subtleties. » (Alexander, 1977, p. 963)[27]

Jane Quillien explique que le concept holistique de *Pattern* d'Alexander résulte d'épreuves au long cours qui ont fait apparaitre la récurrence d'un modèle adapté à la réflexion sur une catégorie de problème donné pour laquelle il reste pertinent et adaptable, combinable, valant presque plus par son utilité pratique durant les actes de conception dont les règles ont une portée plus opératoire que théorique :

> « Un " *pattern* ", rappelons-le, est une configuration reliant une solution à un problème dans un contexte. Ainsi, un problème qui revient fréquemment évoquera une solution rodée et prête à être adaptée à son contexte particulier. " *A Pattern Language* " est une collection de 253 " *patterns*" architecturaux utilisés à travers le monde et le temps, avec des règles pour les combiner et des conseils techniques pour obtenir de bons résultats.» (Quillien, 2007, p. 10)

De ce point de vue, un *pattern* peut être vu comme la leçon tirée de l'étude d'un projet donné et du cas particulier qu'il constitue devenu exemplaire et pouvant s'avérer utile à d'autres projets. Dominique Raynaud décrit la démarche d'Alexander comme une décomposition d'une situation de conception en sous-parties logiques dont les « sous-solutions » peuvent être recomposées :

> « Alexander [1964] part de la constatation que tout objet architectural est un objet complexe répondant à de multiples exigences (ou variables). La méthode proposée consiste à construire un graphe dont les sommets figurent les variables et les arcs, les relations entre les variables.

[26] « Il y a deux objectifs [...] premièrement, de présenter chaque modèle connecté à d'autres motifs, afin de pouvoir saisir la collection de 253 modèles comme un tout, comme un langage, dans lequel vous pouvez créer une infinité de combinaisons. Deuxièmement, présenter le problème et la solution de chaque modèle de telle sorte que vous puissiez le juger par vous-même et le modifier, sans perdre l'essence qui la fonde
Il y a deux objectifs essentiels derrière ce format. Tout d'abord, pour présenter chaque modèle [*pattern*, NDLR] relié à d'autres modèles, afin de pouvoir saisir la collection des 253 comme un tout, comme un langage dans lequel vous pouvez créer une infinie variété de combinaisons. Deuxièmement, présenter le problème et la solution de chaque modèle [*pattern*, NDLR] de manière que vous puissiez le juger par vous-même, et le modifier, sans perdre son essence qui lui est centrale.» Trad.Gouezou

[27] « La philosophie fondamentale derrière l'usage des " *Pattern Language* " est que les bâtiments devraient être uniquement adaptés aux besoins individuels et aux sites ; et que le plan des bâtiments devraient plus être en vrac et fluides, afin de s'accommoder à ces subtilités »Trad.Gouezou

> Le problème initial est alors décomposé en sous-problèmes semi-indépendants, selon la partition minimisant le nombre d'arcs interceptés. Une telle décomposition permet alors de résoudre chaque sous-problème, puis de recomposer les sous-solutions obtenues en une forme globale. Quelles que soient leurs limites, les travaux de Simon [1963] et d'Alexander [1964] sont pour beaucoup dans l'idée d'une exploration rationnelle du processus de conception, et leur marque est encore perceptible dans les travaux contemporains. » (Raynaud, 1999, p. 37)

Ces modèles restreints conceptualisés à partir de l'expérience et sans volonté de théorisation ont une visée opérationnelle, ils intègrent une boite à outil conceptuelle constituée de 253 *patterns*. L'invocation de la seule rationalité laisse songeur, car les aspects sensibles et intentionnels - ou projectuels - ont aussi leur rôle. Si l'identification et l'énonciation de ces *patterns* a pu résulter d'une réflexion à rebours, on peut supposer qu'elle relève aussi d'une réflexion dans et sur l'action telle que Schön a pu la détailler (Cf. section 1.2.3). Nous supposons qu'un fil narratif intègre toutes ces facettes du processus de conception.

1.1.3. Les caractères narratif et fictionnel du projet architectural

Pour le caractère narratif, les architectes s'appuient sur leurs intuitions et pas uniquement sur un raisonnement distancié, syllogistique. Ils ont à ce point assimilé le projet qu'ils en deviennent indissociables. Le Moigne convoque le génie inventif que De Vinci nommait *Disegno* pour expliquer que les ingénieurs se sont éloignés de leur projet initial et ont perdu le fil du génie inventif. Narrer le processus de conception suppose une démarche épistémologique :

> « Le jeune Paul Valéry l'avait vu dès 1894 en écrivant « *L'introduction à la Méthode de Léonard de Vinci* »: Une méthode manifestement fructueuse et surtout aisément identifiable par la narration des processus cognitifs mis en œuvre. En pratiquant et en théorisant remarquablement le 'Disegno' au long des milliers de pages de ses carnets, Léonard va nous inviter à l'exercice de toutes les facultés de l'intelligence humaine au lieu de les restreindre à celui de la seule déduction syllogistique parfaite » (Le Moigne, 2001, p. 8)

La dimension narrative sous-tend parfois ce processus par le biais du discours dont la portée concerne directement le projet mais aussi son processus. Boudon considère que :

> « le discours peut introduire une dimension narrative que l'image ne peut contenir » et plus loin, les auteurs affirment que « ... la valeur de représentation du discours ne porte donc pas seulement sur un projet en train de se faire: il participe activement au processus de conception.» (Boudon et al., 1994, p. 40)

Pour le caractère fictionnel, Omer Akin considère que, pour s'aider à restructurer les problèmes auxquels il est confronté, l'architecte emploie un scenario de conception qui est reconfigurable, permettant ainsi de gérer les choix, les contraintes et les découvertes de conception. Le processus de conception serait découpable en sous-parties agencées de façon dynamique par le scenario suivi et géré par l'architecte :

> «As they are used to create layouts in the context of an existing envelope or site, their topological parameters are kept and their geometric parameters adapted to the particulars of

> these external constraints. In this way they enabled the meeting of a large proportion, if not all, of the constraints called for in the specific site. Furthermore, as scenarios are selected and their parameters modified, new alternatives are generated. This is reflected in the design process as restructuring. Thus, understanding of scenarios and their use in design provides valuable insights about the problem restructuring function. » (Akin, 1987, p. 19) [28]

Le point de vue de Akin fait donc apparaitre deux fonctions majeures au scénario de conception : la conjecturation qui permet notamment les découvertes et la structuration de problème corrélable au « *problem structuring* »[29] dont parlait Vinod Goel (Goel, 1995, p. 125) [30] pour répondre au « *problem solving* » que nous avons proposé de voir la structuration de problème comme une activité assimilable à celle de problématisation, le scénario servirait à donner une consistance à un état de problème en le verbalisant pour le sémantiser et le dynamiser pour l'intégrer dans le fil de la conception. Le continuum du scénario de conception peut évoquer l'idée du script ou d'un fil narratif progressant suivant les hypothèses de conception, fil rouge du scenario qui fait tenir ensemble les différentes parties du projet malgré les possibles hiatus. Défenseur d'un point de vue contradictoire, Christian Girard oppose à cette approche scénarisée de la conception un point de vue orthodoxe fondé au recours à la simulation informatisée. Critiquant la dimension métaphorique et fictionnelle du projet d'architecture classique qui laisse entendre que les architectes, dans leurs scenarii de conception, aiment se raconter des histoires et seraient dans un déni du réel :

> « Pour tout observateur étranger à l'architecture, il est déconcertant de mesurer à quel point une action sur le réel par les architectes passe par le montage et le démontage de fictions. La contradiction est surmontée par une attitude solidement apprise à confondre sans cesse fiction et réel : dessiner à la main n'entretenait pas autre chose que ce brouillage savant et naïf des statuts de réalité. » (Girard, 2014a, p. 275)

Girard confère aux technologies informatiques de simulation le pouvoir de révéler la supposée supercherie des architectes, le « flou artistique » et les « idéologies des architectes » afférentes. Les approches narratives et fictionnelles et la trop grande proximité des architectes avec les domaines de l'art semblent ainsi condamnées par la computation qui aurait le pouvoir d'imposer le réel. La rhétorique polémique de Girard dénote des présupposés intéressants pour notre étude, notamment l'idée que la modélisation supplanterait la représentation. Mais nous pouvons aussi considérer encore l'intérêt de l'approche fictionnelle du projet architectural qui parait proche du paradoxe de Menon de Platon, le scenario permet au concepteur de découvrir, chemin faisant, de nouvelles connaissances adaptées au cas particulier qu'il traite, en plus de s'appuyer

[28] « Comme ils sont utilisés pour créer des agencements dans le contexte d'une enveloppe ou d'un site existant, leurs paramètres topologiques sont conservés et leurs paramètres géométriques adaptés aux particularités de ces contraintes externes. Ils ont ainsi permis de répondre à une grande partie, sinon à la totalité, des contraintes imposées par le site en question. De plus, à mesure que les scénarios sont sélectionnés et que leurs paramètres sont modifiés, de nouvelles alternatives sont générées. Cela se reflète dans le processus de conception en tant que restructuration. Ainsi, la compréhension des scénarios et leur utilisation dans la conception fournit des informations précieuses sur la fonction de restructuration des problèmes. » Trad.Gouezou

[29] Cf. section 1.2

[30] Ou (Purcell and Gero, 1998, p. 394)

sur son expérience propre. Cette appréhension « narrative » du problème et de la question de conception permet aussi à l'architecte de l'assimiler et de se l'approprier, usant du ressort fictionnel et visuel du projet pour pouvoir « embrayer » sa vision du projet. Schön décrit le *storytelling* pour la conception architecturale comme un substitut expérimental :

> « Storytelling represents and substitutes for firsthand experience….Once a story has been told, it can be held as datum, considered at leisure for its meanings and its relationsships with other stories. …By attending to a few features which he considers central, the Supervisor can isolate the main thread of a story from the surrounding factors which he chooses to consider as noise" (Schön, 1983, p. 160)[31]

Faire des hypothèses de conception demande une capacité à se projeter en considérant différentes options. Il serait curieux que les architectes soient privés de leur imagination et de leur prérogative de lui donner suite fictionnellement, du moins dans les premières phases exploratoires. Le biais de la fiction est aussi un moyen de confronter l'état désiré du projet à l'état existant du contexte, l'approche fictionnelle supportant une certaine forme d'interaction entre le concepteur et la situation à laquelle il travaille. La dimension narrative et fictionnelle du projet participe pleinement à sa construction, au même titre que les documents graphiques, permettant d'explorer puis d'expliciter les choix de conception élus par l'architecte pour répondre aux demandes, résoudre les problèmes et faire des propositions pertinentes dans un contexte donné. Il y aurait une corrélation entre la narration, la problématisation et la sémantisation qui dépasse la seule réponse aux besoins et la seule résolution de problèmes pour donner une dimension « épique » propre au projet, qui peut aussi narrer ou questionner. Selon Lawson:

> « In what we might call 'narrative' design the designer, or more often design team, tell a story which can be used to link together the main features of the design. To the outsider this may seem a little childish or even quite ridiculous but there is considerable evidence that this technique is quite widely used and genuinely seems to help some designers. » (Lawson, 2005a, p. 205) [32]

Lawson argumente que les stratégies de conception sont basées sur la constitution d'un fil narratif qui permet aussi d'éviter les décisions arbitraires, le projet disposant de règles inhérentes qui conduisent à ce type de choix :

> « Les architectes trouvent commode d'utiliser une histoire à propos du bâtiment afin de le concevoir et, en conséquence, plusieurs aspects du bâtiment s'en trouvent quelque part plus consistants qu'arbitraires. » (Lawson, 2005a, p. 207)

[31] « La narration représente et remplace l'expérience de première main...une fois qu'une histoire a été racontée, elle peut être considérée comme une donnée, considérée à loisir pour sa signification et ses relations avec les autres histoires. ...En s'intéressant à quelques éléments qu'il considère comme centraux, le superviseur peut isoler le fil conducteur d'une histoire des facteurs environnants qu'il choisit de considérer comme du bruit » Trad.Gouezou

[32] « Dans ce que l'on pourrait appeler le design " narratif ", le designer, ou plus souvent l'équipe de design, raconte une histoire qui peut être utilisée pour relier les principales caractéristiques du design. Vu de l'extérieur, cela peut sembler un peu enfantin ou même assez ridicule, mais il y a de nombreuses preuves que cette technique est très largement utilisée et semble vraiment aider certains concepteurs.» Trad.Gouezou

1.1.4. Conception comme conversation avec une situation

L'approche fictionnelle abordée dans la section précédente soutient un certain dialogue entre le concepteur et la situation qu'il traite. Certaines de ses spéculations sont l'occasion d'obtenir en retour un point de vue qui s'impose par la force de cette situation, e.g. d'un élément contextuel, qui peuvent amener le concepteur à changer son point de vue initial ou à reconfigurer la question et les contraintes soulevées par la situation de conception. Willemien Visser attribue la paternité de la formule à John Dewey tout en la liant à un article de Schön :

> « It is Dewey who introduced the concept of "reflective conversation with the situation" that is the locus of reflection-in-action (see the title of Schön's famous 1992 paper "Designing as reflective conversation with the materials of a design situation"). » (Visser, 2010, p. 2) [33]

Dans un article qu'il consacre à la pensée de Schön sur la conception comme pratique réflexive, Visser explique comment, après Herbert Simon, Schön est un des premiers à tenter (Visser, 2010) d'établir une théorie de la pratique réflexive pour les sciences de la conception, permettant de lier faire et savoir. Schön décrit la relation de réciprocité et la réflexivité des relations entre une action et la connaissance corollaire où ce qui surprend relance la réflexion jusqu'à ce qu'à un certain niveau de satisfaction

> « doing and thinking are complementary. Doing extends thinking in the tests, moves, and probes of experimental action, and reflection feeds on doing and its results. Each feeds the other, and each sets boundary for the other. It is the surprising result of action that triggers reflection, and it is the production of a satisfactory move that brings reflection temporarily to a close. » (Schön, 1983, p. 280)[34]

Cette complémentarité fonctionne selon des cycles itératifs et incrémentaux jusqu'à ce qu'un certain niveau de satisfaction soit atteint. Schön décrit ainsi ce mode « essai-erreur » :

> « the practitioner's moves also produce unintended changes which give the situation new meanings. The situation talks back, the practitioner listens, and as he appreciates what he hears, he reframes the situation once again […]. In this reflective conversation, the practitioner's effort to solve the reframed problem yields new discoveries which call for new reflection-in-action. The process spirals through stages of appreciation, action, and reappreciation. The unique and uncertain situation comes to be understood through the attempt to change it. » (Schön, 1983, pp. 131–132)[35]

---

[33] « C'est Dewey qui a introduit le concept de "conversation réfléxive avec la situation" qui est le lieu de la réflexion en action (voir le titre du célèbre article de Schön de 1992 "Designing as reflective conversation with the materials of a design situation"). » Trad.Gouezou

[34] Faire et penser sont complémantaires. Faire prolonge la réflexion dans les tests, les mouvements et les essais de l'action expérimentale, et la réflexion se nourrit du faire et de ses résultats. Chacun nourrit l'autre, et chacun fixe des limites pour l'autre. C'est le résultat surprenant de l'action qui déclenche la réflexion, et c'est la production d'un mouvement satisfaisant qui met temporairement un terme à la réflexion » Trad.Gouezou

[35] « les mouvements des praticiens produisent aussi des changements involontaires qui donnent un nouveau sens à la situation. La situation parle en retour, le praticien écoute, et comme il apprécie ce qu'il entend, il recadre la situation une fois de plus. […] Dans cette conversation réflexive, l'effort du praticien pour résoudre le problème recadré donne lieu à de nouvelles découvertes qui appellent une nouvelle réflexion en action. Le processus passe par des étapes d'appréciation, d'action et de réappréciation. La situation unique et incertaine se comprend à travers la tentative de la changer. » Trad.Gouezou

La réflexivité que Schön associe à l'activité de concevoir se lit dans les premières représentations que sont les dessins d'esquisses ou croquis qui constitue l'altérité qui lui donne le change.

> « Because of this complexity, the designer's moves tend, happily or unhappily, to produce consequences other than those intended. When this happens, the designer may take account of the unintended changes he has made in the situation by forming new appreciations and understandings and by making new moves. He shapes the situation, in accordance with his initial appreciation of it, the situation "talks back," and he responds to the situation's back-talk.» (Schön, 1983, p. 79) [36]

La conversation avec la situation de conception suppose une réflexion dans l'action.

[36] « En raison de cette complexité, les gestes du concepteur ont tendance, heureusement ou non, à produire des conséquences autres que celles prévues. Lorsque cela se produit, le concepteur peut tenir compte des changements involontaires qu'il a apportés à la situation en formant de nouvelles appréciations et compréhensions et en faisant de nouveaux mouvements. Il façonne la situation, en fonction de son appréciation initiale, la situation "parle en retour", et il réagit à la réponse de la situation. » Trad.Gouezou

1.2. Empirisme des connaissances du concepteur

1.2.1. Co-évolution entre structuration et résolution de problème

Nigel Cross commente la nature floue et imprédictible des problèmes de conception. Sur la base d'un témoignage d'architecte :

> « Puisque les problèmes de la conception sont de nature floue, il est impossible de les résoudre par de simples collecte et synthèse d'information, comme l'a exprimé l'architecte Richard MacCormac : «*Je ne crois pas qu'on puisse concevoir quoi que ce soit par la simple assimilation d'informations dans l'espoir d'en faire la synthèse pour créer une solution. La connaissance utile du problème n'émerge que dans les efforts pour le résoudre*» (MacCormac R., 1976). En d'autres termes, il est impossible de prédéterminer toute l'information nécessaire avant d'entreprendre le travail de conception. Les directions choisies pendant l'exploration du territoire de la conception sont déterminées par ce que l'on apprend tout au long du chemin, et par des visions fugitives et partielles de ce qui se trouve plus loin. Autrement dit, la conception est opportuniste, et il est impossible de prédire le chemin d'exploration. Puisque le travail créatif de conception est de nature improvisée et surprenante, les concepteurs font assez fréquemment référence au rôle de l'intuition dans leur raisonnement conceptuel. » (Cross, 2002, p. 39)

Cross souligne la nature opportuniste et intuitive de la conception architecturale et suggère que la constitution des connaissances nécessaires au projet se fait pas à pas, que le cheminement du processus de conception créative est sujet aux surprises. Kees Dorst et Nigel Cross ont mené une étude portant sur l'évaluation de la qualité de conception et particulièrement de leur créativité du processus de conception menée auprès de neuf designers industriels expérimentés dont les travaux sont évalués par cinq juges qualifiés. Ils ont été confortés dans cette délégation de l'évaluation grâce aux conclusions de l'étude d'Henri Christiaans confirmant la cohérence de l'évaluation de tels juges (Christiaans, 1992). Les critères évalués étaient les suivants : créativité, esthétique, aspects techniques, ergonomie et aspects commerciaux. Les auteurs constatent au terme de leur étude que les tâches de conception créatives ne consistent pas à régler un problème (*problem solving*) (Simon, 1969) mais plutôt à le reformuler - nous dirions problématiser - en fonction des intuitions de solutions considérées. La conception créative relève d'un mouvement itératif entre les espaces de problèmes et les espaces de solution :

> «It seems that creative design is not a matter of first fixing the problem and then searching for a satisfactory solution concept. Creative design seems more to be a matter of developing and refining together both the formulation of a problem and ideas for a solution, with constant iteration of analysis, synthesis and evaluation processes between the two notional design 'spaces'—problem space and solution space » (Dorst and Cross, 2001, p. 434) [37]

[37] « Il semble que le design créatif n'est pas une question de régler en premier lieu le problème et ensuite de rechercher une solution satisfaisante concept. Le design créatif semble plutôt être une question de développement et d'élaboration conjointe d'un problème et d'idées de solution, avec une itération constante des processus d'analyse, de synthèse et d'évaluation entre les deux " espaces " de conception notionnelle - espace du problème et espace de solution » Trad.Gouezou

Ainsi la résolution de problème et l'espace de solution s'entrainent mutuellement de façon incrémentale et itérative selon un principe d'entrainement mutuel :

> « le concepteur découvre les moyens d'harmoniser la solution naissante avec sa compréhension croissante du problème. Dans la conception, le développement de la solution et du problème vont de pair » (Cross, 2002, p. 39)

L'entrainement entre les phases de structuration et de résolution de problème répond au concept de co-évolution du processus de conception créative de Mary Lou Maher, Josiah Poon et Sylvie Boulanger (1996) :

> « Evolution is extended to consider co-evolution where two systems evolve in response to each other. Co-evolution in design exploration supports the change, over time, of the design solution and the design requirements » (Maher et al., 1996, p. 1) [38]

Nous voyons ici que ce principe de co-évolution comporte une dimension exploratoire qui, d'un certain point montre bien la singularité des problèmes de conception réputés mal définis (*ill-defined*), en conséquence de quoi l'activité de conception créative correspondrait autant à la nécessité de trouver des solutions qu'à celle de reformuler le problème et les questions qu'il soulève, nous dirions problématiser bien que d'autres expression consacrées s'imposent comme la structuration de problème (*problem structuring*) (Goel, 1995). La conception créative se caractériserait donc par sa dimension exploratoire que Maher et al modélisent (Cf. Figure 1). Ce modèle de l'exploration présenterait quatre caractéristiques majeures : 1. La recherche se fait dans l'espace du problème et dans l'espace de conception. 2. Ces espaces interagissent sur un spectre temporel. 3. Le mouvement horizontal est un processus évolutif de l'espace de problème parallèlement à l'espace de solution. 4. Le mouvement diagonal est un processus de recherche où les objectifs mènent aux solutions interagissant avec les problèmes.

> « Design is an iterative interplay to "fix" a problem from the problem space and to "search" plausible solutions from the corresponding solution space. The features and constraints in the current solution can become new criteria that lead to a redefined problem space, which in turn helps to generate a new design space. We call this phenomenon exploration. This is a phenomenon generally observed during conceptual design rather than detailed design » (Maher et al., 1996, p. 2)[39]

[38] « L'évolution est étendue à la co-évolution où deux systèmes évoluent en réponse l'un à l'autre. La co-évolution de l'exploration de la conception soutient le changement, au fil du temps, de la solution de conception et des exigences de conception. » Trad.Gouezou

[39] « La conception est une interaction itérative pour "résoudre" un problème à partir de l'espace du problème et pour "rechercher" des solutions plausibles à partir de l'espace de solution correspondant. Les caractéristiques et les contraintes de la solution actuelle peuvent devenir de nouveaux critères qui conduisent à une redéfinition de l'espace du problème, ce qui à son tour aide à générer un nouvel espace de conception. C'est ce que nous appelons l'exploration du phénomène. Il s'agit d'un phénomène généralement observé lors de la conception conceptuelle plutôt que lors de la conception détaillée. » Trad.Gouezou

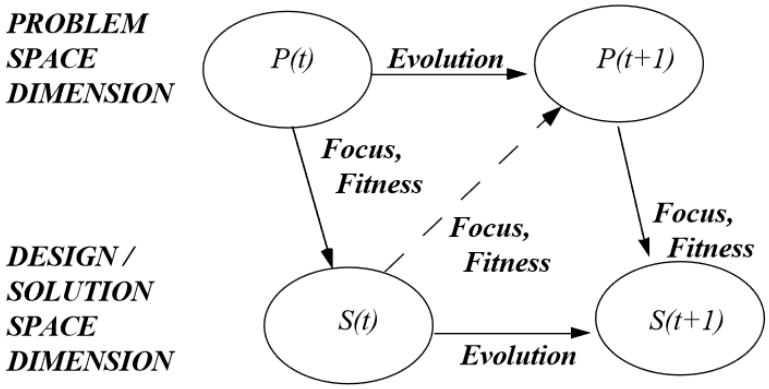


Figure 1 Modèle d'exploration de problèmes de conception (Maher et al., 1996, p. 28)

L'évènement créatif est défini comme un processus de traitement et d'affinement d'informations au cours duquel finit survient un moment décisif où l'une d'elles devient clé dans la constitution d'une idée-noyau (Goel, 1995, p. 126) ou générateur primaire (Darke, 1979). Cette information devenant idée de conception fonctionne comme un nouveau postulat conceptuel. Ainsi, pour expliquer ce qu'est un évènement créatif dans un processus de conception, nous relevons l'importance du changement de point de vue du concepteur par rapport à une information donnée :

> « a chunk [[40] NDLR], a seed, of coherent information was formed in the assignment information, and helped to crystallise a core solution idea. This core solution idea changed the designer's view of the problem. We then observed designers redefining the problem, and checking whether this fits in with earlier solution-ideas. Then they modified the fledgling-solution they had. This pattern of development can be modelled quite clearly along the lines of the Maher model. » (Dorst and Cross, 2001, p. 434) [41]

Schön pose que le praticien expert de la conception mène une réflexion active en réaction à ce que lui oppose les découvertes, le menant à reconfigurer le problème de conception auquel il s'attèle. Cette problématisation l'amène à corriger son point de vue et à composer une solution originale partiellement basée sur ses connaissances :

> « In a good process of design, this conversation with the situation is reftective. In answer to the situation's back-talk, the designer reftects-in-action on the construction of the problem, the strategies of action, or the model of the phenomena, which have been implicit in his moves » (Schön, 1983, p. 79)[42]

[40] Le concept de morceau (chunk) en psychologie est forgé par Miller (Miller, 1956) pour designer un regroupement subjectif d'éléments sans rapport. Le concept est utilisée dans les études sur la résolution de problme par des concepteurs experts dont l'acuité leur permet de détecter le regroupement significatif d'éléments disparates (Suwa and Tversky, 1997a, p. 399)

[41] « un morceau, une graine d'information cohérente a été formé dans l'information d'affectation, et a aidé à cristalliser une idée de solution de base. Cette idée de solution de base a changé la vision du problème chez le concepteur. Nous avons ensuite observé les concepteurs redéfinir le problème, et vérifier si cela correspond aux idées de solutions antérieures. Alors ils modifient la solution naissante qu'ils avaient. Ce modèle de développement peut être modélisé assez clairement à l'instar du modèle de Maher. » Trad.Gouezou

[42] « Dans un bon processus de conception, cette conversation avec la situation est protectrice. En réponse au contre-pied de la situation, le concepteur réfléchit en action sur la construction du problème, les stratégies d'action, ou le modèle des phénomènes, qui ont été implicites dans ses gestes. » Trad.Gouezou

1.2.2. La problématisation, préalable du *problem solving*

Sydney Gregory dissociait la méthode scientifique dont l'objet est de solutionner un problème existant de la méthode de conception dont le projet est d'inventer ce qui n'existe pas encore :

> « The scientific method is a pattern of problem-solving behaviour employed in finding out the nature of what exists, whereas the design method is a pattern of behaviour employed in inventing things of value which do not yet exist. Science is analytic; design is constructive.» (Gregory, 1966, p. 6) [43]

Le caractère analytique de la science opposée à la qualité constructive de l'approche de la conception préfigure clairement le propos semblable à ceux de Le Moigne (Le Moigne, 2002, p. 8) opposant les approches analytique et systémique, où l'intention de projet oriente la réflexion. Cette différence de nature entre le problème de conception et le problème scientifique n'a pas toujours été aussi marquée. De plus, les activités de conception ont pu être réduites aux tâches de résolution de problème (*problem solving*) (Newell and Simon, 1972) nécessitant de déterminer des problèmes mal structurés (*ill-structured problem*) (Simon, 1969). Mais un point de vue alternatif et complémentaire comme celui de Schön tend à considérer les tâches de problématisation comme étant au moins aussi importantes que les tâches de résolution, à commencer par la délimitation de l'espace du problème :

> « the designer constructs the design world within which he/she sets the dimensions of his/her problem space, and invents the moves by which he/she attempts to find solutions. » (Schön, 1992, p. 11) [44]

Après la délimitation de l'espace du problème, Schön souligne l'importance de la phase de sélection et de structuration du problème qu'il juge occultée par la focalisation courante sur les tâches de résolution de problème :

> « Problems of choice or decision are solved through the selection, from available means, of the one best suited to established ends. But with this emphasis on problem solving, we ignore problem setting, the process by which we define the decision to be made, the ends to be achieved, the means which may be chosen » (Schön, 1983, pp. 39–40) [45]

Schön considère que tous les problèmes ne sont pas donnés spontanément mais nécessitent leur construction. Une phase de détection d'éléments problématiques et de réflexion sur leur nature et la spécificité de la situation permettrait de les arracher à une forme de désordre ou d'insignifiance :

---

[43] « La méthode scientifique est un modèle de comportement de résolution de problèmes utilisé pour découvrir la nature de ce qui existe, tandis que la méthode de conception est un modèle de comportement utilisé pour inventer des choses de valeur qui n'existent pas encore. La science est analytique ; la conception est constructive » Trad.Gouezou

[44] « le concepteur construit le monde de conception dans lequel il définit les dimensions de son espace problématique et invente les mouvements par lesquels il tente de trouver des solutions. » Trad.Gouezou

[45] « Les problèmes de choix ou de décision sont résolus par la sélection, à partir des moyens disponibles, de celui qui convient le mieux aux fins établies. Mais en mettant l'accent sur la résolution de problèmes, nous ignorons l'établissement du problème, le processus par lequel nous définissons la décision à prendre, les buts à atteindre, les moyens qui peuvent être choisis. » Trad.Gouezou

> « In real-world practice, problems do not present themselves to the practitioner as givens. They must be constructed from the materials of problematic situations which are puzzling, troubling, and uncertain. In order to convert a problematic situation to a problem, a practitioner must do a certain kind of work. He must make sense of an uncertain situation that initially makes no sense. » (Schön, 1983, p. 40) [46]

Faire problème serait un travail spécifique et caractéristique des activités de conception et, plus particulièrement, du domaine architectural où les aspects sensibles et sémantiques prévalent. La configuration de problème que nous appelons problématisation participe selon Schön à la sémantisation des éléments problématiques et guide la conduite attentionnelle du concepteur :

> « Hypothesis testing experiments succeeds when it effects as intended discrimination among competing hypotheses» (Schön, 1983, p. 146) [47]

Le concepteur choisit une focalisation problématique permettant de dynamiser l'antagonisme entre une situation existante et une situation désirée, de nommer les éléments problématiques dont certains peuvent être spécifiés et catégorisés selon certaines méthodes (e.g *Pattern Language* de Alexander, les vingt échelles architetcurologiques de Boudon) ou bien d'échapper aux catégorisations :

> «problem setting is a necessary condition for technical problem solving, it is not itself a technical problem. When we set the problem, we select what we will treat as the "things" of the situation, we set the boundaries of our attention to it, and we impose upon it a coherence which a11ows us to say what is wrong and in what directions the situation needs to be changed. Problem setting is a process in which, interactively, we name the things to which we will attend and frame the context in which we will attend to them. Even when a problem has been constructed, it may escape the categories of applied science because it presents itself as unique or unstable » (Schön, 1983, pp. 40–41) [48]

Plus qu'ailleurs, l'aptitude à la problématisation est, en Architecture, un moyen d'échapper au seul rôle de « solutionneur » au profit d'un statut plus valorisant de « problématiseur ». L'art de se choisir une question et de la construire en propre renforcerait l'appropriation de la situation de conception, l'élection de priorités ou agenda plus « personnel », le développement d'un point de vue original, la problématisation est constitutive du projet architectural. La

[46] « Dans la pratique réelle, les problèmes ne se donnent pas spontanément au praticien. Ils doivent être construits à partir des matériaux de situations problématiques qui sont déroutantes, troublantes et incertaines. Pour transformer une situation problématique en problème, un praticien doit faire un certain type de travail. Il doit comprendre une situation incertaine qui n'a aucun sens au départ. » Trad.Gouezou

[47] « Les expériences de vérification d'hypothèses réussissent lorsqu'elles entraînent la discrimination voulue entre des hypothèses concurrentes. » Trad.Gouezou

[48] « la configuration de problèmes est une condition nécessaire à la résolution de problèmes techniques, ce n'est pas en soi un problème technique. Lorsque nous posons le problème, nous choisissons ce que nous allons traiter comme les "éléments" de la situation, nous fixons les limites de notre attention à celle-ci, et nous lui imposons une cohérence qui nous permet de dire ce qui ne va pas et dans quelles directions la situation doit être modifiée. La configuration des problèmes est un processus dans lequel, de façon interactive, nous nommons les choses auxquelles nous allons assister et définissons le contexte dans lequel nous allons nous occuper d'elles. Même lorsqu'un problème a été construit, il peut échapper aux catégories des sciences appliquées parce qu'il se présente comme unique ou instable. » Trad.Gouezou

structuration ou la résolution de problème implique différents types de connaissances constituant le socle de l'expertise du concepteur.

1.2.3. *Design by analogy* et expertises du concepteur

Les multiples contributions de Donald Schön ont servi le domaine de la conception, notamment *The reflective practioner*, qui a mis en lumière la dimension pratique de l'acquisition de la connaissance du domaine de la conception qui se fait dans l'action (*knowing in action*). Schön propose la métaphore d'un répertoire de connaissances, références ou solutions fondées empiriquement à l'aune duquel sont estimées les nouvelles situations de conception :

> « The practitioner has built up a repertoire of examples, images, understandings, and actions… When a practitioner makes sense of a situation he perceives to be unique, he sees it as something already present in his repertoire » (Schön, 1983, p. 138) [49]

A propos du caractère empirique des connaissances du concepteur, Schön précise qu'il est naturellement difficile à enseigner, nécessitant une pratique au long cours sur laquelle s'appuie l'expérience qui autorise à interpréter et à sémantiser les éléments constituant une situation de conception. Il reprend l'expression de Cross décrivant l'originalité du savoir du concepteur:

> « Nigel Cross' wonderful phrase '*designerly ways of knowing*' both beautifully encapsulates this problem and stands as a symbol for the tantalising nature of our knowledge about the subject (Cross 1982) » (Lawson, 2005b, p. 303)[50]

Cette expression désignant la façon propre au concepteur de se constituer un savoir spécifique qui apparait comme un marqueur des professions de conception spécifique dans sa vision du monde, ses motivations, stratégies et modes d'action et de fabrication. Purcell et Gero évoquent l'idée de Katz que les concepteurs experts priorisent mieux leurs tâches :

> «Katz[51] has demonstrated that a key difference between expert and novice architectural designers lies in the expert's ability to recognize key constraints or issues in a particular design situation that must be addressed first. Is it that particular types of drawing facilitate the identification of such constraints » (Purcell and Gero, 1998, p. 399)[52]

L'expertise a un impact fort sur l'organisation du travail de conception, l'expert voyant rapidement dans quel ordre travailler. A propos des connaissances propres au domaine de la conception, Cross présentait l'idée qu'outre ces connaissances, il y a aussi une façon de les connaitre *(way of knowing them*) et une façon de les trouver ou de les constituer (Cross, 1982,

[49] « Le praticien a construit un répertoire d'exemples, d'images, de compréhensions et d'actions... Quand un praticien donne un sens à une situation qu'il perçoit comme unique, il la voit comme quelque chose déjà présente dans son repertoire » Trad.Gouezou
[50] « L'expression merveilleuse de Nigel Cross, " des façons de savoir de concepteur " [designerly ways of knowing], résume à la fois magnifiquement ce problème et symbolise la nature alléchante de nos connaissances sur le sujet (Cross, 1982). »
[51] (Katz, 1994)
[52] « Katz a démontré qu'une différence clé entre les concepteurs d'architecture experts et novices réside dans la capacité des experts à reconnaître les contraintes ou les problèmes clés dans une situation de conception particulière qui doivent être abordés en premier. »

p. 223). Si l'on considère cette vision holistique de la connaissance de conception, on peut évoquer l'importance de l'expérience dans tous ces aspects de la connaissance considérée dans l'action même de conception. On peut invoquer au concept de Schön de *Knowing-in-action* (connaissance dans l'action) ou *knowledge-in-action* recouvrant les savoirs tacites, non réfléchis dans la pratique qui trouve une forme réflexive moins spontanée et plus élaborée de réflexion dans l'action (*reflexion-in-action*) évoquant le concept « introspectif » et réflexif de Jones du « self-plus-situation designer » où le concepteur travaille aussi sur lui-même (Chupin, 2000, p. 84). Au risque de simplifier, nous pourrions supposer que la connaissance dans l'action reposerait plutôt sur des circuits « courts » de mémoire de travail que Baddeley qualifie de mémoire court terme tandis que la mémoire à long terme concernant les connaissances conscientes et l'expérience correspondrait à la réflexion dans l'action :

> « A characteristic of expertise that we cannot expect in the performance of novices is, that experts are able to use strategies that 'mobilize' knowledge retrieved from memory so as to quickly solve problems, at least when they are not particularly complex, or novel. The use of analogy appears to be one of these strategies and as our results show, it does indeed serve this purpose. » (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154)[53]

A propos de « répertoire » de connaissances et d'expériences Goldschmidt et Sever font le même constat que Schön sur la collection de références en précisant son caractère cumulatif au fil du temps et de l'expérience, ce répertoire référentiel consolidant l'expertise du concepteur :

> «It is often the hallmark of well known designers that they 'collect' sources of inspiration as a matter of routine, storing them in an ever-growing stock of potential design sources. Artists and writers appear to do the same. Naturally, a mature designer with considerable experience would have a larger active 'archive' of this sort than a novice who has not yet had the opportunity to build up a sizable collection of sources of inspiration » (Goldschmidt and Sever, 2011, p. 151)[54]

Les sources d'inspiration sont glanées par le concepteur enrichissant son répertoire, l'expérience semblant nourrir l'intuition qu'un élément donné servira un jour pour un projet donné. Par exemple, Jean-Pierre Chupin rappelle qu'une carcasse de crabe trouvée par Le Corbusier sur une plage de Long Island près de New York en 1946 trônait sur sa table à dessin en tant qu'objet à réaction poétique, et qu'elle lui a très certainement inspiré, onze ans plus tard, le toit en forme de coque de sa chapelle de Notre Dame du Haut à Ronchamp en 1955. Chupin insiste sur la difficulté à retracer l'inspiration et la morphogénèse de cette toiture, parlant d'inquiétante étrangeté de l'architecture (Chupin, 2000, p. 70) et les limites des explications et

[53] « Une caractéristique de l'expertise que l'on ne s'attend pas à trouver dans les performances des novices est que les experts sont capables d'utiliser des stratégies qui " mobilisent " les connaissances extraites de la mémoire afin de résoudre rapidement des problèmes, du moins lorsqu'ils ne sont pas particulièrement complexes ou nouveaux. L'utilisation de l'analogie semble être l'une de ces stratégies et, comme le montrent nos résultats, elle sert effectivement cet objectif.» Trad.Gouezou

[54] « C'est souvent le signe distinctif des designers bien connus qu'ils " collectent " les sources d'inspiration de façon routinière, les accumulant dans un stock sans cesse croissant de sources de conception potentielles. Les artistes et les écrivains semblent faire de même. Naturellement, un concepteur expérimenté et doté d'une expérience considérable disposerait d'une " archive " active plus importante qu'un novice qui n'a pas encore eu l'occasion de constituer une collection importante de sources d'inspiration.» Trad.Gouezou

justifications que l'on peut trouver aux transferts formels et sémantiques qui sous-tendent cette forme. Terrence Curry caractérise le côté spontané, presque irréfléchi, des connaissances tacites dont use le concepteur expert :

> « Expert designers typically take a solution-driven approach to design problems, calling upon years of experience, making use of tacit knowledge, often unaware of exactly how they do it » (Curry, 2014, p. 633) [55]

Nous pouvons supposer que l'accumulation de références et l'expérience d'un concepteur comme Le Corbusier offrent des éléments de réponse, c'est-à-dire que ce « répertoire » dont parle Schön serait constitué de cas comme d'autant de fragments de modèle offrant plus des pistes intuitives de solution qu'une solution toute faite. Dire que le concepteur en sait plus qu'il ne peut le dire, c'est dire que le langage est en défaut lorsqu'il faut expliquer des connaissances tacites impliquées dans la conception. Le mécanisme cognitif de réflexion dans l'action compenserait l'absence de méthode générale disponible pour résoudre des problèmes complexes toujours neufs, l'expérience offre presque une méthode spontanée permettant de faire face à presque n'importe quel type de problème de conception, évoquant le « *pattern language* » d'Alexander. Le processus de conception experte comporterait donc une part d'improvisation qui est sans rapport avec l'amateurisme. Au contraire, elle traduirait une forme de confiance du concepteur expert dans le corpus de ses connaissances acquises empiriquement et qui permet aussi bien de faire face aux cas connus qu'aux cas inconnus, à l'image des improvisations de jazzman qu'évoque Schön. Il explique ici le caractère itératif, en mode essai-erreur, des improvisations :

> « Improvisation consists in varying, combining, and recombining a set of figures within the schema which bounds and gives coherence to the performance. » (Schön, 1983, p. 55)[56]

Schön et Wiggins élargissent à tout le domaine de la conception cette idée que la production de connaissance et l'apprentissage du domaine lui-même est liée à la pratique même de la conception.

> « designing can help to build knowledge of design domains, create new understandings of design problems, and foster the development of appreciative systems, it may be important to elicit conscious reflection on these things. The hard work of making explicit the discoveries gained through designing may help to make them more readily accessible and more subject to conscious control and choice » (Schon and Wiggins, 1992, p. 155)[57]

[55] « Les concepteurs experts adoptent généralement une approche axée sur la recherche de solutions aux problèmes de conception, faisant appel à des années d'expérience, faisant appel à des connaissances tacites, souvent ignorantes de la façon exacte dont ils le font. » Trad.Gouezou

[56] « L'improvisation consiste à varier, combiner et recombiner un ensemble de figures à l'intérieur du schéma qui délimite et donne cohérence à la performance » Trad.Gouezou

[57] « concevoir peut aider à développer la connaissance des domaines de conception, à créer de nouvelles compréhensions des problèmes de conception et à favoriser le développement de systèmes appréciatifs, il peut être important de susciter une réflexion consciente sur ces choses. Le travail ardu de rendre explicites les découvertes issues de la conception peut aider à les rendre plus facilement accessibles et plus sujettes à un contrôle et à un choix conscient. » Trad.Gouezou

Nous relevons une difficulté majeure de la conception qui est de rendre explicite des phénomènes ou problèmes latents, compétence qui semble être consolidée par l'expérience pour pouvoir élaborer un point de vue original et pertinent sur la situation de conception, formulation qui aidera à la qualité de la proposition architecturale. Si les problèmes de conception architecturale sont implicites, ils ne seraient pas donnés d'emblée mais requerraient d'être construits. Schön conjecture que les concepteurs experts en savent plus que ce qu'ils peuvent dire, supposant un caractère tacite et intuitif du savoir expert acquis empiriquement.

> « I begin with the assumption that competent practitioners usually know more than they can say. They exhibit a kind of knowing-in-practice, most of which is tacit. Nevertheless, starting with protocols of actual performance, it is possible to construct and test models of knowing. Indeed, practitioners themselves often reveal a capacity for reflection on their intuitive knowing in the midst of action and sometimes use this capacity to cope with the unique, uncertain, and conflicted situations of practice. » (Schön, 1983, pp. 8–9) [58]

Cette assertion de Schön concernant le caractère tacite et intuitif des connaissances du concepteur expert nous ramène à celle de Simon à propos du paradoxe de Menon (Cf. 1.1.2). Cette référence signifie que le concepteur expert découvrant qu'il est spontanément capable de résoudre un problème auquel il n'a jamais été confronté, indiquant qu'une étrange intuition précède la connaissance.

> « This capacity to do the right thing […] exhibiting the more that we know in what we do by the way in which we do it, is what we mean by knowing-in-action. And this capacity to respond to surprise through improvisation on the spot is what we mean by reflection-in-action. » (Schön, 1992, p. 11)[59]

Une définition de l'expertise en conception est proposée par Casakin et Goldschmidt, ils associent l'expertise à l'acquisition empirique de connaissances de compétences:

> «In addition to knowledge, skill is the single most important hallmark of expertise in any domain. Developing potent problem-solving strategies is a cornerstone of skill acquisition. In domains in which illdefined problems are the rule, like architectural design, skills are acquired in a 'learning by doing', or 'trial and error' manner. Analogical reasoning turns out to be one of the strategies of which skilled designers make heavy use » (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 153) [60]

[58] « Je pars de l'hypothèse que les praticiens compétents en savent généralement plus qu'ils ne peuvent le dire. Ils font preuve d'une sorte de connaissance en pratique, dont la plus grande partie est tacite. Néanmoins, à partir de protocoles de performance réelle, il est possible de construire et de tester des modèles de connaissance. En effet, les praticiens eux-mêmes révèlent souvent une capacité de réflexion sur leurs connaissances intuitives au milieu de l'action et utilisent parfois cette capacité pour faire face aux situations uniques, incertaines et conflictuelles de la pratique. » Trad.Gouezou

[59] « Cette capacité de faire ce qu'il convient de faire […] en montrant plus que nous savons dans ce que nous faisons par la façon dont nous le faisons, c'est ce que nous entendons par savoir en action. Et cette capacité à répondre à la surprise par l'improvisation sur le terrain est ce que nous entendons par réflexion en action » Trad.Gouezou

[60] « En plus des connaissances, la compétence est la marque la plus importante de l'expertise dans n'importe quel domaine. L'élaboration de stratégies efficaces de résolution de problèmes est la pierre angulaire de l'acquisition de compétences. Dans les domaines où les problèmes mal structurés [ill-structured problems] sont la règle, comme la conception architecturale, les compétences s'acquièrent " par l'apprentissage sur le tas " [learning by doing] ou par le mode « essais et erreurs " » Trad.Gouezou

L'expérience des experts de la conception leur permet de prioriser les problèmes et savent intuitivement quelles pistes de solution emprunter face à un problème mal défini et quels sont leur potentiel créatif (Dabbeeru and Mukerjee, 2008). Leur expérience sert aussi à éprouver leurs hypothèses expérimentalement :

> « Seeing-as is not enough, however. When a practitioner sees a new situation as some element of his repertoire, he gets a new way of seeing it and a new possibility for action in it, but the adequacy and utility of his new view must still be discovered in action. Reflection in action necessarily involves experiment » (Schön, 1983, p. 141)[61]

Charles Eastman (Eastman, 2001) relève deux caractéristiques observables chez les concepteurs experts. Ils parviennent à passer facilement de l'imagerie mentale (*mental imagery*) à la représentation ou externalisation, et à intégrer inversement un dessin dans leur mémoire. Leur expérience personnelle soutient la mémorisation d'informations de conception, fonctionnant par analogie et par association face à des situations et contextes spécifiques. Il résume (Eastman, 2001, pp. 181–182) les observations faites dans une autre étude (Crismond, 2001): comparativement aux concepteurs novices, les concepteurs experts utilisent plus d'analogies avec d'autres conceptions pour situer leur travail, par inspiration ou opposition; les caractéristiques de leur conception correspondent mieux aux fonctionnalités et aux usages attendus ; ils prennent mieux en compte les besoins des utilisateurs ; les caractéristiques du produit étaient mal liées à leur fonction par des concepteurs naïfs, alors qu'elles étaient réalisées de façon riche, tant sur le plan qualitatif que quantitatif, par des concepteurs experts ; ils utilisaient plus les dessins pour interagir avec leurs conceptions (Schön, 1991). Casakin et Goldschmidt affirment que les concepteurs experts maîtrisent mieux la caractérisation du problème de conception, leurs connaissances et expérience, discernent donc mieux la nature du problème, les possibles solutions, et leurs aspects fonctionnels, flous ou abstraits :

> « A characteristic of expertise that we cannot expect in the performance of novices is, that experts are able to use strategies that 'mobilize' knowledge retrieved from memory so as to quickly solve problems, at least when they are not particularly complex, or novel. The use of analogy appears to be one of these strategies and as our results show, it does indeed serve this purpose. » (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154)[62]

Le « répertoire » de références du concepteur expert suit un raisonnement analogique. Le raisonnement analogique (*Design By Analogy, DBA*) dédié à la résolution de problème mal structuré peut améliorer dont Casakin et Goldschmidt proposent une définition :

---

[61] « Mais voir comme ne suffit pas. Quand un praticien voit une nouvelle situation comme un élément de son répertoire, il gagne une nouvelle façon de la voir et une nouvelle possibilité d'action, mais l'adéquation et l'utilité de sa nouvelle vision doivent encore être découvertes dans l'action. La réflexion dans l'action passe nécessairement par l'expérimentation » Trad.Gouezou

[62] « Une caractéristique de l'expertise que l'on ne s'attend pas à trouver dans les performances des novices est que les experts sont capables d'utiliser des stratégies qui " mobilisent " les connaissances extraites de la mémoire afin de résoudre rapidement des problèmes, du moins lorsqu'ils ne sont pas particulièrement complexes ou nouveaux. L'utilisation de l'analogie semble être l'une de ces stratégies et, comme le montrent nos résultats, elle sert effectivement cet objectif.» Trad.Gouezou

> « Ananalogy is defined as a likeness of relations, [...]. The transfer of knowledge is achieved by analogical mapping, whereby a system of relations concerning central properties is transferred from a base to a target situation. The identification of a similarity between possible relations in the target situation and known relations in the source situation leads to the creation of an analogy» (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154) [63]

L'étude de Goldschmidt et Casakin établit que ces analogies sont plutôt de nature visuelle. Schön résume l'activité du concepteur expert rendue tangible par ses représentations :

> «A designer makes things. Sometimes he makes the final product; more often, he makes a representation -a plan, program, or image- of an artifact to be constructed by others. He Design as a Reflective Conversation with the Situation works in particular situations, uses particular materials, and employs a distinctive medium and language. » (Schön, 1983, pp. 78–79)[64]

L'expression du travail de conception passe par les représentations associées au langage par lesquelles il établit une conversation réflexive avec une situation particulière :

> «Typically, his making process is complex. There are more variables - kinds of possible moves, norms, and interrelationships of these - than can be represented in a finite model » (Schön, 1983, pp. 78–79)[65]

La représentation architecturale serait l'activité majeure du concepteur et serait plus suggestive qu'exhaustive : la complexité du projet que conçoit l'architecte ne serait pas modélisable.

1.2.1. Conclusion

Nous avons passé en revue des recherches majeures dédiées à la conception architecturale dont il est ressorti qu'elle est difficile à modéliser, et qu'elle peut être comparée à une forme de conversation avec une situation. La conception architecturale occupe une place particulière parmi les sciences de conception que nous pourrions qualifier de créative. L'approche inventive du projet la caractérise, il agrège et intègre intuitivement des éléments en les conformant à une vision que l'architecte fonde à la fois sur son expérience et ses intuitions face à la demande et au contexte qui forment une situation de conception originale. La fiction que se fabrique l'architecte pour initier son projet permet de confronter l'état désiré du projet avec l'état existant du contexte, ce qui peut expliquer le caractère dialectique de la conception créative en architecture. Celle-ci n'a pas pour vocation première de résoudre des problèmes, mais à discerner, à partir d'une découverte, une idée créative qui induira un changement de point de

[63] « L'analogie est définie comme une similitude de relations, (...). Le transfert de connaissances s'effectue par cartographie analogique, où un système de relations concernant les propriétés centrales est transféré d'une situation de base à une situation cible. La similitude entre les relations possibles dans la situation cible et les relations connues dans la situation source conduit à la création d'une analogie. » Trad.Gouezou

[64] « Un concepteur fait des choses. Parfois, il réalise le produit final ; le plus souvent, il fait une représentation - un plan, un programme ou une image - d'un artefact qui sera construit par d'autres. Il conçoit comme une conversation reflexive fonctionne dans des situations particulières, utilise des matériaux particuliers et emploie un médium et un langage distinctifs.» Trad. Gouezou

[65] « En général, son processus de fabrication est complexe. Il y a plus de variables - des types de mouvements, de normes et d'interrelations possibles de ces éléments - qu'il n'est pas possible de représenter dans un modèle fini. » Trad. Gouezou

vue et une redéfinition de la problématique du projet (Dorst and Cross, 2001, p. 434). Selon Karz, le concepteur expert reconnait plus rapidement les problèmes et les hiérarchise mieux (Purcell and Gero, 1998, p. 399), selon Schön il s'appuie sur son « répertoire » pour puiser de solutions par analogie (Schön, 1983, p. 138) et (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154), son expérience aide sans doute l'expert à connaitre intuitivement les solutions *(way of knowing them*) (Cross, 1982, p. 223), ce qui est assimilable à une connaissance tacite (Curry, 2014, p. 633) et les dessins des experts correspondent mieux à leur imagerie mentale (Eastman, 2001, pp. 181–182).

2. LE DESSIN D'ESQUISSE A LA MAIN ET SON INFORMATISATION

2.1. Caractéristiques et fonctions du dessin d'esquisse

Dans cette section dédiée aux précédents travaux portants sur le dessin d'esquisse, nous tentons d'identifier les caractéristiques majeures de cette pratique particulière du dessin par les architectes en les rapportant, autant que possible, au sujet du BIM.

2.1.1. Le dessin d'esquisse aux commencements de la conception

Le dessin d'esquisse, ou croquis[66] d'architecte, est un medium emblématique de la conception créative architecturale. Il permet de figurer un questionnement, ou une hypothèse éventuellement adossée à une formulation langagière : l'idée externalisée peut alors être évaluée. L'omniprésence du dessin d'esquisse pourrait être lié à son large spectre d'expression allant du « flou » au « précis », et qui offre de nombreux styles possibles ; le définir serait donc ardu mais la notion de dextérité n'est peut-être pas sans rapport avec sa grande liberté graphique. La main, organe de prédilection pour le dessin, est particulièrement versatile. Son spectre d'actions des plus larges la rendrait sophistiquée dans son fonctionnement mais naturelle et polyvalente dans son utilisation. Juhani Pallasmaa (2013), l'auteur de *La main qui pense*, a ouvert la voie vers ce type d'étude œcuménique du croquis d'architecte. Sa thèse de la main qui pense soutenue est séduisante car elle réintroduit la corporéité dans l'appréhension de la pensée du concepteur d'architecture, ce qui se fait à l'encontre d'une approche savante plus communément admise. Par commodité pour sa démonstration, nous semble-t-il, la main est supposée être dotée d'une relative indépendance, presque d'une pensée et d'une vie propre. Le corps, et *a fortiori* la main, deviennent un récepteur dans lequel s'imprime un ensemble de connaissances à la fois trop sensibles et complexes pour pouvoir être supportées par le seul langage. Pallasmaa cite Wilson qui insiste sur le rôle de la main :

> « toute théorie de l'intelligence humaine qui ne tient pas compte de l'interdépendance de la main et du cerveau, des origines historiques de ces relations, de l'influence de cette histoire sur l'évolution de l'humanité d'aujourd'hui est une théorie tout à fait fausse et stérile [[67]NDLR]» (Pallasmaa, 2013, p. 29)

Pallasmaa cite aussi Charles Bell qui déclarait, en 1933 :

> « La main de l'homme est si merveilleusement formée, ses gestes témoignent d'une telle force, d'une telle liberté et, en même temps, d'une telle délicatesse qu'il est difficile d'imaginer la complexité d'une pareil instrument. Nous l'utilisons comme nous respirons, sans réfléchir »(Pallasmaa, 2013, p. 26)

L'intérêt du dessin d'esquisse exécuté traditionnellement à la main semble reposer en partie sur l'implication de la main et plus particulièrement de l'opposition entre le pouce et le couple

[66] « Le croquis désigne le dessin « pris rapidement sur le vif » in (Céleste, 1984, p. 152)
[67] (Wilson, 1997)

index et majeur (l'index devant s'opposer au pouce, le majeur servant de support au crayon) qui rend possible un spectre total entre la précision la plus totale et le flou, ou l'ambiguïté graphique. Wilson, selon Pallasmaa, plaide pour une réévaluation du rôle de la main dans la cognition :

> « Le cerveau ne vit pas à l'intérieur de la tête, même si la tête est officiellement son lieu d'habitat. Il fait partie du corps tout entier et, à travers le corps, du monde lui-même. On pourrait dire que le cerveau se termine à la moelle épinière, et que la moelle épinière se termine au nerf périphérique, et que le nerf périphérique se termine à la jonction neuromusculaire, et ainsi de suite jusqu'au quarcks. Mais le cerveau, c'est la main, et la main, c'est le cerveau, et leur interdépendance comprend tout le reste, jusqu'aux quarks. » (Wilson, 1997, p. 307) in (Pallasmaa, 2013) [68]

Les doigts, et par extension l'ensemble du corps, étant des capteurs extrêmement sensibles, nous ressentons tout lorsque nous dessinons, de la pression de la plume exercée sur la table, le grain du papier, la dureté de la mine etc. Ces aspects caractérisent aussi le dessin libre participant aux schémas perceptifs et à la cognition associée : il y a une gestuelle du dessin et, outre la cognition visuelle, la proprioception et la kinesthésie sont aussi impliquées. Au-delà du signe graphique ou textuel, le geste du dessin serait aussi un marqueur de l'activité de dessin. La main est composée de vingt-sept os actionnés par vingt et un muscles, soit un tiers des soixante muscles dédiés aux membres supérieurs. Sur ces vingt et un muscles que comporte la main, huit sont dédiés à l'opposition pouce index, soit un tiers. Les combinaisons résultantes paraissent donc nombreuses et peuvent expliquer la liberté d'expression dont la main semble dotée. En outre, le dessin à la main vaut comme un mode d'expression personnel, une signature graphique de l'architecte, il en un marqueur « visuel » de l'identité de l'auteur aussi sûrement qu'une voix ou une signature. Dans la pratique du dessin libre ou dessin d'esquisse, il n'existe pas de modalité exclusive, et pas de requis conventionnel de niveau de détail : il est admis que le dessin exécuté à la main puisse être, selon les besoins, tantôt précis, tantôt flou. Interviewé par Goldschmidt, un architecte explique l'intérêt du flou du dessin d'esquisse :

> « I can't get very far with just thinking about it without drawing something... I tend to overlay when I use pencil... they [overlays] are usually pretty similar... these drawings are usually worthless as products so I am not very attached to them... I also do a lot of erasing. I like to erase because I like to have a lot of lines on the page. I like fuzzy stuff. I can see things in it more than I can in harder-lined things. So, sometimes I just get a lot of lines out and then I start to see things in it. A lot of times I pick up things I think are important. I put down potentials and then erase down to them... I'm learning to erase less and just overlay.... » (Goldschmidt, 1991a, p. 129) [69]

[68] (Wilson, 1997, p. 307) in (Pallasmaa, 2013)

[69] « Je ne peux pas aller très loin par la pensée sans dessiner quelque chose.... J'ai tendance à superposer quand j'utilise un crayon... ils [les superpositions] sont généralement assez similaires... ces dessins sont généralement sans valeur en tant que produits donc je ne suis pas très attaché à eux.… Je fais aussi beaucoup de gommages. J'aime effacer parce que j'aime avoir beaucoup de lignes sur la page. J'aime les trucs flous. J'y vois plus de choses que dans dessins mis au propre. Donc, parfois, je considère beaucoup de lignes et je commence à voir des choses dedans. Souvent, j'apprends des choses que je trouve importantes. J'écris les potentiels et ensuite je les efface.... J'apprends à effacer moins et à superposer. » Trad.Gouezou

Ici le flou semble être une condition ou état esthétique convenant à l'idéation. A ce titre nous pourrions évoquer la notion de « brouillon » pour la caractériser, tout en soulignant la proximité étymologique avec le mot « brouillard »[70], suggérant que la vision d'une idée ou d'un projet délivré par le dessin d'esquisse ne saurait être trop nette. Nous pourrions corréler ce caractère « flou » au décalage jouant dans le dessin d'esquisse entre les idées de l'architecte et leur représentation ; soit un décalage interprétatif fécond entre l'intention et sa représentation qui montrerait que, par nature, une démarche exploratoire de conception serait tendanciellement « dialectique » dans ses moyens graphiques. Goldschmidt relate les propos d'un participant à son protocole expérimental, on y trouve l'expression la fécondité du flou de l'esquisse qui se prête aux interprétations :

> «The search cycle ends when the designer is ready to attempt a 'hardline' drawing (more or less accurate, true to dimensions scale drawing, often executed with drafting devices such as rulers and triangles). Its purpose is to test and verify a concept through a communicable representation. » (Goldschmidt, 1991a, p. 129) [71]

Si nous devions le caractériser, nous dirions que le dessin d'esquisse peut être défini par sa dimension graphique exploratoire cyclique - idéation, analyse, correction -, offrant un degré de liberté élevé. Julie Dorsey et Leonard McMillan soulignent son caractère « plastique » :

> « The classical tools of architectural design include a wide range of media. Among these are pencil and paper, cardboard and rubber cement and clay and wire. All of these media have a common set of properties. Each is pliant, flexible and forgiving. By their nature they encourage exploration and iteration. » (Dorsey and McMillan, 1998, p. 46)[72]

Dissocions la pratique du dessin d'esquisse du dessin d'agrément ou artistique en invoquant Bill Buxton selon qui l'objet du dessin d'esquisse serait la conception, et non le dessin :

> «*Sketching is not about drawing, it's about design* » (Buxton, 2011)

Cette idée est communément admise chez les architectes qui semblent, comme Viollet-le-Duc, attribuer plus de valeur à la sémantique d'une esquisse qu'à son esthétique. Cette sémantique provenant du processus de réflexion du concepteur s'accompagne du dessin d'esquisse qui présente des qualités adéquates pour les tâches de conception. Huot cite les travaux de Goël et Pirolli visant à la caractérisation des activités des concepteurs :

> « Les études et analyses de Vinod GOËL (Goël & Pirolli, 1989) ont permis de caractériser les démarches invariantes mises en jeux par des concepteurs lors de la résolution de ces problèmes larges et complexes :

[70] Merci à Gérard Engrand pour ce « trait » d'esprit.
[71] « Le cycle de recherche se termine lorsque le concepteur est prêt à essayer un dessin "au propre" (plus ou moins précis, fidèle au dessin à l'échelle des dimensions, souvent exécuté avec des dispositifs de dessin tels que des règles et des équerres). Son but est de tester et de vérifier un concept au moyen d'une représentation communicable. » Trad.Gouezou
[72] « Les outils classiques de conception architecturale incluent un large éventail de medias. Parmi ceux-ci figurent le crayon et le papier, le ciment, le carton, le caoutchouc et l'argile et le fil. Tous ces médias ont un ensemble commun de propriétés. Chacun est flexible, souple et indulgent. De par leur nature, ils encouragent l'exploration et l'itération.» Trad.Gouezou

- Ils montrent une activité intense de structuration et de restructuration du problème.
- Ils développent plusieurs modèles du système (traduit par des diagrammes, prototypes).
- Les problèmes peuvent être résolus par un ensemble de solutions plus ou moins acceptables que le concepteur doit alors évaluer. Cela implique la mise en œuvre de fonctions d'évaluation.
- Cette évaluation est cyclique et s'effectue par approximations successives.
- Les concepteurs ont tendance à préciser progressivement les contours du système, laissant ainsi la place à des alternatives.
- Ils décomposent le problème en modules perméables ayant des intersections et des liens plus ou moins forts.
- Leur démarche évolue de buts abstraits aux spécifications concrètes en passant par des abstractions de plus en plus spécifiques.
- Ils utilisent des systèmes symboliques ou graphiques pour décrire les résultats intermédiaires. » (Huot, 2005, p. 6)

Goël pointe l'idée que les tâches des concepteurs consistent à inventer des solutions de conception puis à les modifier continuellement de façon itérative et incrémentale. Purcell et Gero relatent les travaux de Finke clarifiant la progressivité du processus de conception fonctionnant en mode « essai-erreur » et son caractère hypothétique, processuel :

> «In the first phase of the process preinventive structures […] are generated. These structures have properties that stimulate creativity in that they are novel, ambiguous and support emergence or reinterpretation. These properties are exploited during an exploratory phase in which the form is interpreted in a meaningful way. If this exploratory phase is unsuccessful then either the initial preinventive structure is abandoned and a new one generated or the old one is modified and re-explored […] a strength of a model that separates the generation of preinventive structures from their exploration is that it focuses on the process as one that occurs through time with different phases which may involve different cognitive processes.» (Purcell and Gero, 1998, p. 422)[73]

Huot expose l'argument de Cross de l'importance du rôle du croquis comme medium d'aide à la prise de décision de conception :

> « le concepteur doit maîtriser un genre de médium – le croquis – permettant aux idées partiellement formées d'être exprimées et réfléchies : d'être prises en considération, développées, rejetées, et reconsidérées. » [Cross, 2002] [NDLR[74]]. Dès lors, le dessin ne peut que favoriser les décisions importantes lors des phases préliminaires de conception. » (Huot, 2005, p. 12)

[73] « Dans la première phase du processus, des structures préinventives [...] sont générées. Ces structures ont des propriétés qui stimulent la créativité en ce qu'elles sont nouvelles, ambiguës et favorisent l'émergence ou la réinterprétation. Ces propriétés sont exploitées lors d'une phase exploratoire où la forme est interprétée de manière significative. Si cette phase exploratoire n'aboutit pas, soit la structure initiale préinventive est abandonnée et une nouvelle structure est créée, soit l'ancienne est explorée à nouveau et modifiée. [...] l'une des forces d'un modèle qui sépare la génération de structures préinventives de leur exploration est qu'il se concentre sur le processus qui se déroule dans le temps avec différentes phases qui peuvent impliquer différents processus cognitifs. » Trad.Gouezou

[74] (Cross, 2002, p. 40)

En retrouvant la citation originale, nous pouvons compléter la citation de Cross choisie Stéphane Huot. Elle donne un éclairage complémentaire sur le cadre réflexif de la conception comme discussion avec une situation dans lequel intervient le croquis :

> « Admettre que le dialogue ou la conversation intervient entre les représentations intérieures et extérieures, c'est reconnaître que la conception est réflexive » (Cross, 2002, p. 40)

Le dessin d'esquisse correspond à cette versatilité en permettant le déploiement d'une pensée de conception comme processus incrémental d'idéation fonctionnant en mode essai erreur, itératif, tels que le dépeignait Coons (Coons, 1963, p. 300). Dans son mémoire de thèse de doctorat, Stéphane Huot a identifié les contributeurs principaux du domaine de l'esquisse et dialogué avec des praticiens. Il en a tiré une caractéristique essentielle au dessin d'esquisse ou croquis, qui serait la liberté d'expression graphique ou l'expressivité :

> « Au vu de nos lectures, observations et discussions avec des architectes, si l'on devait n'utiliser qu'un seul mot pour caractériser le croquis d'architecture ce serait liberté. Le croquis à main levée, bien que souvent dans une vue perspective, n'obéit en effet à aucune règle graphique ou technique, visant avant tout la concision et la rapidité d'exécution. Il illustre une intention plus qu'une réalité ou qu'un but, afin de produire l'effet spéculatif sur son observateur (le dessinateur, dans la plupart des cas). Dès lors, toute considération de précision est écartée (mesures, échelle,...) pour susciter l'exploration, la projection mentale.» (Huot, 2005, p. 43)

Le phasage du processus de conception est généralement étudié en rapport en invoquant la notion de cycle ou de boucle. Huot synthétise la proposition de Lebahar décomposant la conception architecturale en trois phases; trois étapes logiques qui seraient le diagnostic architectural, la recherche de l'objet par simulation graphique, et l'établissement du modèle de construction:

> «1. Le diagnostic architectural. C'est dans cette phase de la résolution du problème que l'architecte va le cerner et le définir en respect des contraintes de base. Il va alors prendre en compte les contraintes financières du client, la surface et topologie du terrain, les contraintes écologiques, juridique, les règles de conformité. Il va pour cela visiter les lieux, discuter avec son client mais aussi utiliser des documents liés à ces données : des photographies, des plans de géomètre, etc. Combinant le tout avec ses connaissances et savoirs propres, il est alors en phase d'exploration dont le résultat sera une première « base graphique de simulation », mélange de notes et de premiers dessins.
>
> 2.La recherche de l'objet par simulation graphique. Dès lors, le concepteur va entamer ce que nous avions appelé la génération des solutions et leur évaluation, dans un processus incrémental et itératif. Et c'est le dessin qui va être le vecteur privilégié de cette démarche. Il va supporter la simulation, basée sur les transformations successives que va développer le raisonnement de l'architecte, jusqu'à une définition précise de solutions acceptables au problème. Dans cette situation, comme nous l'avions déjà évoqué en parlant de conversation entre le concepteur et son dessin, le dessin est plus qu'un support. Il représente, comme le souligne Jean-Charles LEBAHAR, « l'objet en création et la pensée qui le crée »
> (Huot, 2005, p. 18)

La phrase de Lebahar que nous avons mise en exergue, inscrite dans cette deuxième phase d'exploration par simulation graphique, fait écho à la dimension au concept de dialectique du

sketching de Goldschmidt : la génération et l'évaluation de solutions de conception en boucles répétitives et par petit pas - l'itération et incrément - nous paraît préfigurer assez nettement le concept de dialectique du *sketching* de Goldschmidt (Cf. section suivante) :

> « 3. L'établissement du modèle de construction. Cette phase est l'établissement des représentations graphiques précises, destinées à rendre claire la solution pour les constructeurs. C'est la « décision définitive concernant l'ensemble du projet » (plans, dessins précis et métrés, avec une échelle spécifiée, etc.). » (Huot, 2005, pp. 18–19)

David Scheer commentant le déclin du dessin à la main, rappelle ses aspects artisanaux, et les difficultés et le temps d'apprentissage requis pour en maîtriser les techniques.

> « Before CAD, a drawing was the product of a human hand manipulating physical media. Drafting was a craft that involved lengthy practice to arrive at a mastery of pencil, pen and paper in order to produce a useful artifact » (Scheer, 2011, p. 194)[75]

Erigé au rang d'art, la maîtrise de cette culture codifiée du dessin aurait renforcé l'autorité de l'architecte perçu comme un maître de création intellectuelle et physique (Scheer, 2011, p. 198), ce à quoi nous pourrions rajouter la maîtrise de la vision dans l'espace associée à ces mêmes dessins. Naturellement, Scheer précise que cette maîtrise lui confère l'ascendant utile pour pouvoir décider des informations qu'il est disposé à transmettre, s'évitant ainsi de devoir tout montrer et se soumettre à d'autres jugement que le sien propre :

> « Drawing provided architects intellectual and emotional connections with the built world. As a conceptual tool, drawing provided the geometric framework within which we made meaningful built form, both creating and reflecting our shared understanding of space. As a physical artifact, drawing was a craft akin to the building crafts and provided a physical experience of making that allowed us to enter the world of made objects, joining us with building » (Scheer, 2011, p. 200) [76]

Tversky synthétise les fonctionnalités du dessin d'esquisse qui permettent l'expression d'idées ainsi que des découvertes d'éléments visibles ou tacites.

> « Sketches are a useful tool for checking and conveying ideas, for self and others. They also serve as an external display to facilitate inference and discovery, to go from the intended to the unintended, to go from the seen to the unseen. Sketches for design or for diagrams are structured. They consist of elements or segments that can be combined to create a wide range of meanings. The elements are often simply schematic figures such as lines and blobs whose meanings are readily interpretable from their geometric and Gestalt properties. » (Tversky, 2002, p. 3) [77]

---

[75] « Avant la CAO, un dessin était le produit d'une main humaine manipulant des supports physiques. Le dessin était un métier qui impliquait une longue pratique pour arriver à une maîtrise du crayon, du stylo et du papier afin de produire un artefact utile. » Trad .Gouezou

[76] « Le dessin a fourni aux architectes des liens intellectuels et émotionnels avec le monde bâti. En tant qu'outil conceptuel, le dessin a fourni le cadre géométrique à l'intérieur duquel nous avons créé une forme construite significative, créant et reflétant notre compréhension commune de l'espace. En tant qu'artefact physique, le dessin était un métier semblable à l'artisanat de la construction et nous a permis d'entrer dans le monde des objets fabriqués, en nous liant au bâtiment. » Trad.Gouezou

[77] « Les croquis sont un outil utile pour vérifier et transmettre des idées, pour soi-même et pour les autres. Elles servent aussi de vitrine externe pour faciliter l'inférence et la découverte, pour passer de l'intention à l'involontaire,

Il est admis que la conception architecturale et son enseignement n'exigent pas une maîtrise du dessin, mais une capacité à penser et à s'exprimer par le dessin :

> « Les concepteurs n'apprennent pas seulement à faire des dessins ; Ils apprennent à réfléchir à partir des dessins » (Fallman, 2003, p. 229) in (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 48)

C'est dire que l'esthétique du dessin importe moins que sa capacité à soutenir la cognition du concepteur. Daniel Herbert s'est référé aux travaux de Charles Rusch qui a produit des avancées significatives dans le domaine d'étude de la cognition dédiée à la conception, proposant un modèle graphique pour établir le degré de compréhension du concepteur. Polarisés entre une compréhension que nous qualifierons d'instinctive et une compréhension plus formalisée, par exemple au moyen du langage, la cognition de l'architecte atteindrait, selon Rusch, un état de relative complétude au niveau de l'imagination *(imaginal level)* grâce aux dessins. Herbert déclare que le dessin d'esquisse fourni les moyens graphiques nécessaires pour ajouter et formaliser des informations provenant de différentes expériences cognitives :

> « This model is directly applicable to the examination of study drawings because it accounts for design as a dynamic process and it shows how different kinds of experience may be brought into design by means of images » (Herbert, 1993, p. 29) [78]

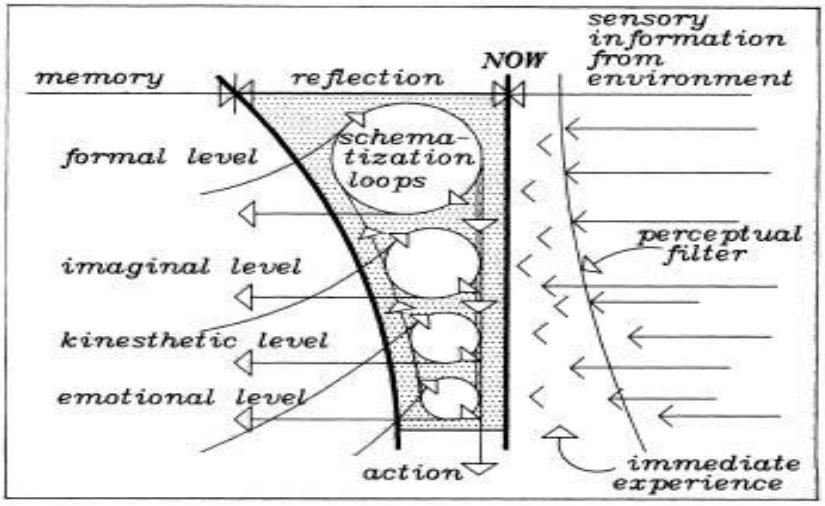


Figure 2 modèle graphique de Rusch pour établir le degré de compréhension du concepteur (Herbert, 1993, p. 30)

pour passer du vu à l'invisible. Les croquis pour la conception ou pour les diagrammes sont structurés. Ils se composent d'éléments ou de segments qui peuvent être combinés pour créer un large éventail de significations. Les éléments sont souvent de simples figures schématiques telles que des lignes et des taches dont la signification peut être facilement interprétée à partir de leurs propriétés géométriques et de "Gestalt". De telles esquisses incorporent des éléments du langage oral. Contrairement au langage, cependant, les esquisses transmettent directement des propriétés figuratives et relationnelles, facilitant la mémoire, l'inférence et la découverte. Néanmoins, il existe des parallèles intrigants entre les esquisses et le langage, entre les représentations et les descriptions à deux niveaux : à un niveau abstrait, dans l'existence même de la segmentation et de la combinaison, et au niveau du contenu d'un domaine particulier, dans les segments et combinaisons particuliers, notamment dans les cartes et directions de route. Sous un bon éclairage, l'analyse de chacun, les descriptions et les représentations, peuvent révéler la pensée. »

[78] « ce modèle est directement applicable aux dessins d'étude car il rend compte de la conception comme étant un processus dynamique et montre comment différents types d'expériences peuvent surgir par le moyen des images »Trad.Gouezou

Cette hypothèse est intéressante dans le sens où le dessin d'étude ou dessin d'esquisse apparaîtrait alors comme le medium *ad hoc* pour exprimer aussi bien une intuition diffuse, une nuance ambiguë qu'une pensée construite et complexe, son large spectre irait en quelque sorte de la perception à la réflexion. Sur cette base, Herbert a proposé l'adaptation de ce modèle appliqué aux documents graphiques d'architecte :

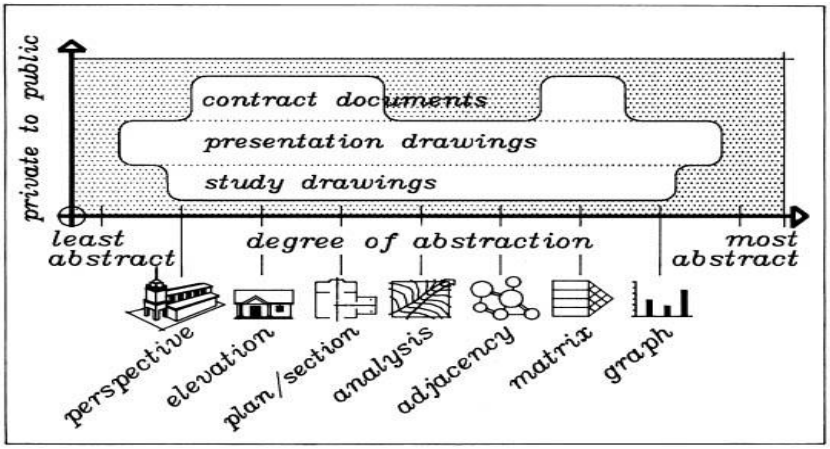


Figure 3 adaptation du modèle de Rusch par Herbert l'appliquant aux documents graphiques d'architecte (Herbert, 1993, p. 29)

Herbert, analysant des dessins d'études à l'aide de ces modèles, en tire une décomposition des attributs en cinq fonctionnalités (Herbert, 1993, p. 29.32) distinctes du dessin d'étude peut révéler ou occulter certaines informations (1 : « *structure cachée* »), ajouter des informations issues de notre expérience cognitive (2 : *« gain d'informations* »), où le dessin utilise des conventions pour faciliter la communication (3 : « *les conventions graphiques* ») , poursuivre ou rompre un extrait du processus de conception (4 : « *la continuité et les changements* »), symboliser un problème de conception (5 : « *le dessin comme métaphore* »). La seconde fonction est liée à l'adjonction d'informations obtenues grâce au « raffinement » des dessins nous intéresse plus particulièrement parce que l'information est aussi le grand sujet du BIM, et parce que le dessin tel que l'interprète Herbert avec le prisme du modèle de Rusch, se présenterait donc comme le vecteur unifiant toutes les expériences du concepteur : de la plus physiologique et sensible à la plus intellectuelle ou conceptuelle, de la perception à la réflexion :

> «Rusch points out how images provide access to the imaginal level of reflection, bridging between the non-conceptual (emotional and kinesthetic) levels and the purely conceptual (formal) level, as shown in the diagram. The externalized products of the imaginal level, Rusch says, are the principal medium of design thinking. Now, study drawings are exactly such externalized products of cognitive images, linked by their evolution to other parts of the designer's cognitive experience. The importance of the second property of study drawings - adding information via cognitive images - lies not just in the addition itself but in the power of these images to interact with the emotional, kinesthetic and formal aspects of experience. It is

> through the medium of study drawings that the designer's whole experience, personal as well as professional, can be brought to bear on design issues. » (Herbert, 1993, p. 30) [79]

Herbert juge ce modèle adapté à l'appréhension des dessins d'étude, les images devenant le moyen de rendre compte des dynamiques de conception. D'un certain point de vue, au-delà de l'ajout d'information, le dessin d'étude selon Herbert porte tous les aspects et dimensions des expériences présentes et passées vécues par le concepteur : l'expérience du dessin constitue l'expérience même de conception créative, et peut presque être confondu avec elle. La quatrième caractéristique du dessin d'étude d'Herbert - « *Continuité et changements* » - nous intéressera par le lien qu'il établit entre tentative et mémoire qui, dans l'expérience de conception, mène l'architecte à introduire incrémentalement des modifications :

> «The working process in design is not just dynamic but cyclic: study drawings form the outer arc of an iterative loop in the working process while perceptual and cognitive systems form the inner arc of the loop. Looking first at the inner arc, development of a design comes through changes in the designer's cognitive experience-his or her understanding of the design problem-as registered by the study drawings in successive iterations through the whole loop of the working process. » (Herbert, 1993, p. 31) [80]

Herbert précise qu'un mécanisme cognitif de reprise et modification est éclairée par Rusch qui décrit la structure de la mémoire comme résolument dynamique, itérative et incrémentale : chaque modification apportant des ajouts et des suppressions en liant l'élément travaillé au tout auquel il se rattache ainsi qu'au contexte :

> « The memory structure is by no means static or rigid; it is dynamic and constantly undergoing modifications during recall when it is fed back through the constructive activity of immediate experience. On each recycle the structure is rebuilt, new information is added, parts of the old structure are discarded, while other parts are changed only indirectly by the changes in the context which sur rounds them» (Rusch, 1970, p. 63) [81]

---

[79] « Rusch souligne comment les images donnent accès au niveau imaginaire de la réflexion, faisant le lien entre les niveaux non conceptuels (émotionnels et kinesthésiques) et le niveau purement conceptuel (formel), comme l'illustre le diagramme. Les produits externalisés du niveau imaginaire, dit Rusch, sont le principal médium de la pensée conceptuelle. Or, les dessins d'étude sont exactement ces produits externalisés des images cognitives, liés par leur évolution à d'autres parties de l'expérience cognitive du concepteur. L'importance de la deuxième propriété des dessins d'étude - l'ajout d'information par le biais d'images cognitives - réside non seulement dans l'ajout lui-même, mais aussi dans la capacité de ces images à interagir avec les aspects émotionnels, kinesthésiques et formels de l'expérience. C'est par le dessin d'étude que toute l'expérience du concepteur, tant personnelle que professionnelle, peut être mise à contribution dans les questions de conception. » Trad.Gouezou

[80] « Le processus de travail dans la conception n'est pas seulement dynamique mais cyclique : les dessins d'étude forment l'arc externe d'une boucle itérative dans le processus de travail tandis que les systèmes perceptuels et cognitifs forment l'arc interne de la boucle. En regardant d'abord l'arc intérieur, le développement d'un design passe par des changements dans l'expérience cognitive du concepteur - sa compréhension du problème de design - telle qu'elle est enregistrée par les dessins d'étude dans des itérations successives tout au long de la boucle du processus de travail. » Trad.Gouezou

[81] « La structure de la mémoire n'est en aucun cas statique ou rigide ; elle est dynamique et subit constamment des modifications pendant le rappel quand elle est renvoyée par l'activité constructive de l'expérience immédiate. A chaque cycle, la structure est reconstruite, de nouvelles informations sont ajoutées, des parties de l'ancienne structure sont jetées, tandis que d'autres parties ne sont modifiées qu'indirectement par les changements du contexte qui les entoure » Trad.Gouezou

Nous retrouvons le concept de co-évolution entre problème et solution de Maher (Maher et al., 1996)[82] qui se traduit ici par un cycle de production de dessin, d'analyse et de modification. Mark Baskinger considère le dessin d'esquisse comme un support majeur des idées de conception. Pour lui, le dessin d'esquisse convient à l'idéation dans une dynamique qui considère des idées alternatives ou dans le développement d'une idée :

> « The common link to all of design drawing is in constructing a graphic representation in a coherent format, one that speaks to alternative ideas and the evolution of an idea » (Baskinger, 2008, p. 29) [83]

L'étude de Matthew Cook et Arvin Agah, qui répertorie toutes les recherches menées dans le domaine de la modélisation informatique sur la base de dessin d'esquisse (*sketch-based modeling*), caractérise le dessin d'esquisse dont la versatilité convient à l'expression de toutes les idées, des plus abstraites aux plus précises :

A cette occasion, ils pointent que les corrections progressivement apportées à des idées de conception trouvent dans le dessin d'esquisse le medium adéquat :

> «For our purposes, sketching is a form of drawing. Sketching is generally done as preparation, planning, and idea generation, for another activity, be it an engineer's scrawled diagrams or the underdrawing of an oil painter. Because a sketch can be made quickly and simply with the tools at hand, sketching is a powerful tool to help make abstract ideas and nascent designs more concrete. For this same reason, sketches are characteristically "sketchy" in appearance; rough, messy and disorganized. These qualities both reflect the creative mental process a sketch represents, and drive that thinking process from a vague notion to a developped idea. » (Cook and Agah, 2009a, p. 201) [84]

Cook et Agah considèrent que le dessin d'esquisse est un m*edium* adapté à l'idéation, qu'elle soit abstraite ou concrète, le croquis serait emblématique de la conception créative ; le caractère brut et rapide du dessin d'esquisse correspond à l'idée d'inachèvement d'une recherche graphique en cours préfigurant d'autres études plus avancées. Nous retenons aussi que l'objectif du croquis ou dessin d'esquisse est d'exprimer un état d'avancement de la conception à un instant « T ». Purcell et Gero ont relevé chez différents auteurs des considérations semblables concernant la recherche d'une idée directrice, générale, semblable au générateur primaire de Darke (Darke, 1979) ou de l'idée noyau de Goel (Goel, 1995) :

> «Conversations with designers often reveal that they are looking for an organizing principle or concept around which to develop the design—a 'big', 'simple' idea (see for example the

[82] Cf. section 1.2.1 et note 38

[83] « Le lien commun à l'ensemble du dessin de conception est la construction d'une représentation graphique dans un format cohérent, qui parle d'idées alternatives et de l'évolution d'une idée. » Trad.Gouezou

[84] « Pour nous, le croquis est une forme de dessin. Le croquis est généralement fait comme préparation, planification et génération d'idées, pour une autre activité, qu'il s'agisse de diagrammes griffonnés d'un ingénieur ou de tracé d'un peintre à l'huile. Parce qu'une esquisse peut être faite rapidement et simplement avec les outils à portée de main, l'esquisse est un outil puissant pour rendre plus concrètes les idées abstraites et les dessins n aissants. Pour cette même raison, les esquisses sont caractérisées par une apparence " sommaire ", rugueuse, désordonnée et désorganisée. Ces qualités reflètent à la fois le processus mental créatif qu'une esquisse représente et le moteur de ce processus de réflexion d'une notion vague à une idée développée. » Trad.Gouezou

> interviews with a number of leading architects in Lawson [[85]NDLR] . Cross and Clayburn Cross's [[86]NDLR] work has also identified the same type of phenomenon in other areas of design. While the 'big' idea is often associated with original and creative outcomes, it could be that it is another way in which the load on working memory can be reduced » (Purcell and Gero, 1998, p. 410) [87]

Nous pouvons supposer que cette idée d'origine, générateur primaire ou idée noyau, qui doit déclencher une séquence d'idéation qui s'arrêtera, en principe, au moment de la mise au propre des dessins (*hardlines*) sur plans. Pierre Leclercq, Stéphane Safin et Roland Juchme ont proposé une scission analogue des dessins d'architecte en deux catégories : les brouillons et les plans mis au propre, ce qui préfigure une dialectique séparant les idées qui seront validées de celles qui ne le seront pas. De notre point de vue, dans un mouvement complémentaire et opposé, le brouillon surviendrait pour ouvrir la réflexion aux possibles idées, alors que le plan mis au propre la fermerait en validant l'idée choisie :

> « Notre recherche participe à cette approche de caractérisation des transformations entre croquis successifs en se focalisant sur l'activité graphique plutôt que sur le contenu sémantique des dessins. Nous envisageons ainsi non seulement la succession des dessins, mais aussi la dynamique de cette succession. Pour ce faire, nous nous intéressons ici à une activité particulière, présente dans toutes nos observations, généralement qualifiée de « mise au net », consistant à reproduire un croquis de manière plus « soignée » (Leclercq et al., 2011, p. 5)

De façon analogue, Goldschmidt avance que le croquis, lié originellement à la pensée, progresse en cycles de recherche qui trouvent leur terme lors de la mise au propre:

> « The old Italian name pensieri that was given to sketches when sketching first became a common practice in the art and design world of the Renaissance, means 'thoughts' (Olszweski, 1981). The name most appropriately describes sketches, which are indeed thoughts. Accordingly, sketching is thinking. The search cycle ends when the designer is ready to attempt a 'hardline' drawing » (Goldschmidt, 1991a, p. 130) [88]

Cette limite de la mise au propre correspond à la deuxième phase décrite par Estevez, la phase *descriptive* des ouvrages, tandis que la phase précédente de dessin d'esquisse correspondrait à la première phase *spéculative* discernée par Estevez. Jean-Charles Lebahar découpe le processus de conception en trois grandes séquences auxquelles correspondent trois phases « graphiques » qui sont le diagnostic architectural, la recherche de l'objet par simulation graphique et l'établissement du modèle de construction. Cette tripartition du dessin d'architecte

[85] (Lawson, 1997)
[86] (Cross and Clayburn, 1996) et (Cross and Cross-Clayburn, 1998)
[87] « Les conversations avec les concepteurs révèlent souvent qu'ils sont à la recherche d'un principe ou d'un concept d'organisation autour duquel développer la conception - une idée " grande ", " simple " (voir par exemple les entretiens avec un certain nombre d'architectes renommés dans Lawson42). Le travail de Cross et Clayburn Cross43,44 a également identifié le même type de phénomène dans d'autres domaines de la conception. Bien qu'une grande idée générale soit souvent associée à des résultats originaux et créatifs, il se pourrait qu'il s'agisse d'une autre façon de réduire la charge de la mémoire de travail. » Trad.Gouezou
[88] « L'ancien nom italien " *pensieri* " qui a été donné à des croquis lors de l'esquisse est devenu une pratique courante dans le monde de l'art et du design de la Renaissance, signifie "pensées" (Olszwcski, 1981). Le nom décrit le mieux les croquis, qui sont en effet des pensées. En conséquence, dessiner une esquisse revient à penser. Le cycle de recherche se termine lorsque le concepteur est prêt à tenter un dessin "au trait" » Trad.Gouezou

fait écho à une autre tripartition d'Estevez (dessin spéculatif, dessin descriptif et dessin prescriptif) qui nous semble correspondre à l'affinement du projet observable entre le début de l'esquisse et les dessins d'exécution des ouvrages finaux. Huot nous explique l'origine et le sens de cette tripartition du dessin d'architecte que propose Estevez :

> « Afin de cerner les types de dessin d'architecture et leurs fonctions dans la durée d'un projet architectural, nous reprenons dans cette section les trois fonctions adoptées par Daniel ESTEVEZ : le dessin spéculatif, dessin descriptif et le dessin prescriptif [Estevez, 2001], qui spécialisent celles de Eugene FERGUSON que nous avions déjà évoquées dans le contexte général […]. Le dessin descriptif est le vecteur de communication de l'architecte. Il permet de montrer, mais aussi de voir « ce que ça donne ». Le dessin prescriptif est celui qui va permettre la construction, la réalisation de l'édifice. Enfin, le dessin spéculatif est […] le support principal de l'activité créative et conceptuelle. Il ne résulte toutefois pas de cette décomposition une séparation imperméable des fonctions du dessin dans le processus de conception architecturale. Ces fonctions, isolées par Daniel ESTEVEZ pour organiser son discours, s'imbriquent et s'influencent tout au long du processus. Il est d'ailleurs impossible de cloisonner chacune d'elles dans les trois phases décrites précédemment. » (Huot, 2005, p. 18)

D'un certain point de vue, ces catégories de dessin correspondraient à leur niveau de maturité. Stéphane Huot évoque les travaux de Ferguson établissant les trois types de croquis d'esquisse :

> « Eugene Ferguson propose trois catégories de dessins de conception [Ferguson, 1992] :
> le dessin/croquis de la pensée ("*thinking sketch* ") supporte l'activité mentale du concepteur.
> le dessin parlant ("*talking sketch* ") est un vecteur de communication et de discussion pour les acteurs du processus de conception. *Le dessin prescriptif* ("*prescriptive sketch* ") spécifie l'objet conçu pour les observateurs extérieurs au processus de conception. » [89]

La tripartition des types de dessins de Fergusson semble correspondre aux trois phases de conception décrites par Estevez qu'il décrit ainsi :

> « Il distingue trois fonctions majeures [Estevez 2001] La fonction spéculative qui supporte l'activité conceptuelle. La fonction descriptive qui permet de maîtriser en détail l'apparence du projet. Et la fonction prescriptive qui vise l'édification du projet. » (Huot, 2005, p. 19)

Cette trilogie d'Estevez concernant les trois grands temps de la conception architecturale fait écho à une trilogie « graphique » équivalente établie par Rusch; distinguant par ordre logique d'abord les dessins d'étude (« *study drawings* ») dont les croquis, dessins d'esquisses font partie), puis dessins de présentation (« *Description drawings* ») qui correspondraient à la phase de description dont parle Estevez, enfin une dernière phase graphique de Rusch, les documents contractuels («*Contracts documents* ») , correspondrait à la phase prescriptive qui ponctue la trilogie d'Estevez. Nous en retirons que les spéculations et explorations caractérisant les premières phases de conception trouveraient dans le dessin d'esquisse, soit le croquis[90], que

[89] (Huot, 2005, p. 10)

[90] http://www.cnrtl.fr/definition/croquis: « Représentation figurative (d'un sujet) réduite à ses éléments essentiels. Joli, léger croquis; croquis amusant, informe, rapide; croquis au crayon; album, série de croquis; dessiner, prendre un/des croquis (de). Synon. (partiels) crayon, esquisse. Le croquis colorié d'une délicieuse vue intérieure du futur appartement (Balzac, Birotteau,1837, p. 160).Le croquis est une note, certaines esquisses sont une fin (Malraux,

Rusch nomme dessins d'étude, le medium *ad hoc*. Marin & Cuba Segura expliquent ainsi la même tripartition du dessin d'Estevez. Ferguson caractérise cette première phase « spéculative » menée à l'aide du medium dessin d'esquisse en tant que « *thinking sketch* », soit le croquis d'esquisse de pensée. Marin et Cuba Segura résument la même analyse de Ferguson:

> « Ferguson (1994) a identifié trois familles de dessin : Le dessin de la pensée qui matérialise l'activité mentale du concepteur, le dessin parlant qui supporte la communication, le dessin prescriptif qui décrit l'objet conçu pour permettre sa réalisation. » (Marin and Cuba Segura, 2014, p. 5)

Huot en a détaillé les deux premières phases descriptive et prescriptive :

> « Le dessin descriptif va permettre à l'architecte de « rendre visible » l'objet qu'il crée […] Ce dessin descriptif utilise principalement la technique de la perspective afin de rapprocher le plus possible l'objet en création de sa future réalisation […] Le dessin prescriptif va servir à la construction du bâtiment. Les représentations figuratives obéissent alors à un code graphique précis et défini, associé à des nomenclatures, détails des matériaux, etc... C'en est fini de « l'espace des solutions » et de la « réversibilité des choix », l'une des solutions est choisie. » (Huot, 2005, p. 20)

Nous voyons que les deux dernières phases descriptives et prescriptives correspondent aux deux dernières étapes logiques de la conception architecturale que sont respectivement l'étude et la construction qui ne concernent pas notre étude qui se concentre sur la première forme de dessin spéculatif qu'Huot décrit ainsi :

> « Un point très important est la propension qu'a le dessin à dialoguer avec son auteur. Outre le fait qu'il favorise l'émergence d'idées spontanées, support incontestable de l'expérimentation, sa disposition spatiale entraîne la perception des relations et inconsistances entre les concepts qu'il représente, point indispensable de la conception architecturale. En effet, la mise en relation successive, rapide et simultanée de contraintes et d'objectifs de sources différentes (structure, fonction, usage, ...) facilite la recherche de cohérence, menant à ce que Jean-Charles LEBAHAR appelle la « réduction d'incertitude » [Lebahar, 1983]. […] il nous paraît clair que le dessin spéculatif, le dessin de la pensée (de l'analyse aux solutions), se caractérise avant tout par la liberté que prend l'architecte pour arriver à ses fins. Liberté qu'offre le croquis, de par sa simplicité d'emploi. […] Le croquis est accessible à tous moments et en tous lieux. Mais la notion de liberté se retrouve aussi dans les aspects techniques du dessin de conception de l'architecte. Il va utiliser toutes les représentations figuratives dont il dispose (croquis, en perspective ou plans, coupes, élévations, calques) pour supporter son processus de création mental, dégagé de beaucoup d'aspects techniques » (Huot, 2005, p. 24)

La caractérisation du dessin *spéculatif* proposée par Huot montre qu'il permet de mettre en rapport des contraintes ou requis, des concepts, des objectifs (structurels, fonctionnels, d'usage), qu'il soutient une forme de dialogue avec son auteur, qu'il permet l'exploration, les découvertes inattendues et la réduction d'incertitude soit la détermination progressive de la

Voix sil.,1951, p. 107). CROQUIS, subst. masc. Étymol. et Hist. 1. 1752 (J. Lacombe, Dict. portatif des beaux-arts, p. 198); 2. 1775 p. ext. « ébauche d'un ouvrage de l'esprit » (Voltaire, Lettre d'Argental ds Littré). Dér. du rad. de croquer*; suff. -is*. »

conception. Le corolaire de ces spécificités serait assez logiquement l'absence d'entraves à l'expressivité :

> « […] il nous paraît clair que le dessin spéculatif, le dessin de la pensée (de l'analyse aux solutions), se caractérise avant tout par la liberté que prend l'architecte pour arriver à ses fins. Liberté qu'offre le croquis, de par sa simplicité d'emploi. […] Le croquis est accessible à tous moments et en tous lieux. Mais la notion de liberté se retrouve aussi dans les aspects techniques du dessin de conception de l'architecte. Il va utiliser toutes les représentations figuratives dont il dispose (croquis, en perspective ou plans, coupes, élévations, calques) pour supporter son processus de création mental, dégagé de beaucoup d'aspects techniques » (Huot, 2005, p. 24)

Huot dépeint le croquis comme un *medium* libre et accessible lors de toutes les phases de conception et permet la focalisation de l'attention. Fallman considère que le dessin d'esquisse est une forme de dessin consacrée et reconnue dans les domaines de conception, qu'il distingue des plans et autres documents graphiques de mise au propre :

> « In design fields such as architecture and industrial design, sketching has long been recognized as a core professional skill [[91]NDLR]. Design theory typically separates the kind of sketching which we will be concerned with here—that is occurring mostly in the early part of design and envisioned as primarily a tool for thinking—and the drawings that are produced in later stages, for public communication and as presentation aids [[92]NDLR]. » (Fallman, 2003, p. 229) [93]

L'élection du dessin d'esquisse pour la phase d'idéation semble régulièrement confortée, ce que l'équipe du LUCID de l'ULg attribue à différentes caractéristiques qui paraissent conformes au concept du mot esquisse qui évoque la rapidité, l'ambiguïté et une forme de suggestivité évocatrice qui dispense d'aller dans le détail :

> « L'esquisse de conception à main levée présente en effet des caractéristiques graphiques bien adaptées aux activités créatives caractéristiques de ces premières étapes : rapidité d'exécution et expressivité graphique [Rogers, Green & McGrown 2000], abstraction et ambiguïté [MacCall, Ekaterini & Zabel 2001]. Graphiquement, elles sont composées de nombreux traits imprécis, parfois redondants, présentant peu de variétés (types, couleur, épaisseur etc.) » (Leclercq et al., 2011, pp. 2–3)

Après avoir vu différents aspects du dessin d'esquisse au commencement du projet architectural, certains méritent d'être développés. Les rapports et dialogues entre l'imagination et les dessins d'esquisse nous amèneront à considérer les efforts de mémoire selon différentes temporalités, puis d'interroger le concept de représentation en architecture, les notions de tentative et de découverte portés par le dessin d'esquisse.

---

[91] (Stolterman, 1999)
[92] (Goldschmidt, 1991a)
[93] « Dans les domaines de la conception tels que l'architecture et le design industriel, le dessin est reconnu depuis longtemps comme une compétence professionnelle de base. La théorie de la conception sépare généralement le type d'esquisse qui nous préoccupe ici - qui se produit surtout dans la première partie de la conception et qui est principalement considérée comme un outil de réflexion - et les dessins qui sont produits dans les étapes ultérieures, pour la communication publique et comme aides de présentation. » Trad.Gouezou

2.1.2. Itérations entre l'image mentale et les représentations externalisées

La polysémie du croquis introduit un jeu, un décalage entre les intentions du concepteur le résultat, aide à la conception en permettant de reformuler le projet qui y gagne presque une existence en propre, détachée de lui. Le « tremblé » du dessin à la main exprimerait cette tension de l'exploration et de l'idéation. Stéphane Huot voit le dessin d'esquisse comme le prolongement de la cognition de l'architecte dont il reflète les propriétés principales :

> « on peut qualifier le croquis de prolongement de la pensée de l'architecte, sa concision étant liée à la nécessité de suivre la rapidité du raisonnement, son imprécision étant liée aux aspects flous de ce même raisonnement (représenter une intention, et ne fermer aucune porte). » (Huot, 2005, p. 43)

Huot restitue ici un condensé de ses diverses lectures dédiées au sujet du dessin d'esquisse pour lequel la fidélité à la cognition, la vitesse, le flou et la versatilité sont des caractéristiques convenant mieux à cet état projectuel de « tentatives ». Juhani Pallasmaa confère à la main dessinante une capacité d'expression de l'affect du concepteur non seulement à la pointe du crayon qu'elle manie mais aussi en elle-même, prenant l'exemple de Le Corbusier, pour affirmer un caractère expressif de la main comme celle d'un visage. Pallasmaa cite André Wogenski, un collaborateur de Le Corbusier évoquant l'expressivité du maître :

> «Alors j'ai laissé descendre mon regard de son visage à ses mains. Il semblait que ses mains le trahissaient. Elles disaient tous les sentiments, toutes les vibrations de sa vie intérieure que son visage tentait de cacher. Des mains qu'on aurait cru dessinées par lui-même, avec ce trait fait de mille petits traits successifs qui semblaient se chercher, mais finalement délimitaient la ligne précise et exacte, le contour unique qui cerne la forme et la définit dans l'espace. Des mains paraissant hésitantes d'où sortait la précision. Des mains qui cherchaient toujours, comme sa pensée. Et dans ses mains se lisait son angoisse, sa déception, son émotion, et son espoir. Des mains qui avaient, qui allaient dessiner toute son œuvre. » (Pallasmaa, 2013, p. 22)

Il est facile d'imaginer que le tremblement et les hésitations de la main et du cerveau de Le Corbusier se répondent, la main en devenant une expression. En dehors du large spectre expressif du dessin à la main, Pallasmaa évoque sa dimension émotionnelle. En général, l'acception commune du terme émotion empêche de l'envisager du point de vue cognitif. En sciences cognitives, le rôle de l'émotion dans la cognition est pourtant largement admis, notamment depuis les travaux d'Antonio Damasio. Selon lui, la capacité de créer des images mentales sollicite les schèmes perceptifs. Sa thèse de Damasio des zones convergence-divergence (ZCD) établit que le modèle majeur de la cognition est plutôt celui de la carte. Ainsi, même si la psycho-pathologie a permis depuis longtemps d'identifier, de cartographier et de localiser les spécialisations des zones corticales par l'étude pathologique et de leurs conséquences cognitives, Damasio a considérablement promu l'approche dynamique de la cognition par « carte », arguant qu'une émotion donnée sollicite souvent plusieurs zones corticales. Sa théorie des cartes de ZCD tente d'expliquer ce phénomène. Les ZCD sont liées au concept de potentiel d'action (un neurone est excité ou inhibé) en fonction de ces cartes. Les

réseaux auto-excitateurs peuvent ainsi simuler une perception, l'imagination peut stimuler des perceptions en anticipant divers scenarii de façon plus ou moins consciente. Le processus de fabrication d'images - d'imagination - pourrait donc être lié à des schèmes perceptifs conscients ou non dont on peut supposer l'implication lors d'actes de conception architecturale via le dessin. L'approche pathologique étant encore d'usage en sciences cognitives, évoquons, également le cas de patients « aphantaisiques » (Zemana et al., 2015) qui sont démunis de système représentationnel propre, et sont littéralement inaptes à se fabriquer une image mentale. Dans les explorations graphiques des architectes semble se produire un jeu semblable d'« imagerie intérieure », alternant intériorisation puis extériorisation continues. Le neurologue Alain Berthoz cite le philosophe Merleau-Ponty à propos d'un processus d'intériorisation du monde qui évoque les neurones miroir :

> « Maurice Merleau-Ponty […] écrivait que les choses ont un équivalent interne en nous. Elles évoquent une « forme charnelle de leur présence ». Cette merveilleuse expression résume le fait que, au cours du développement, mus par des causes génétiques et des facteurs épigénétiques, se constituent, au sein des réseaux de notre cerveau et de la moelle épinière, de véritables modèles internes des propriétés des objets, y compris de notre propre corps physiques » (Berthoz, 2013, p. 49)

Tversky s'est intéressée à ce que révèlent les dessins d'esquisse de la pensée des architectes pour en révéler la dimension « opératoire » :

> « Sketches can be, however, externalizations of ideas. externalizations of ideas. As such, they can convey ideas, especially visual spatial ones, effectively. They can also facilitate discovery of new objects and relations, foster new ideas. Let us now turn to what people extract from sketches. » (Tversky, 2002, p. 3) [94]

Conciliant pensée et action, l'approche de Tversky suggère qu'en externalisant les idées par le dessin d'esquisse, le concepteur extériorise et distancie ses images mentales suffisamment loin de lui pour qu'elle puisse devenir un objet d'étude - est-ce à dire que l'effet du dessin d'esquisse serait de transformer un *projet* intangible en *objets* - tangibles - d'étude : les dessins ? - et être reconsidérées et analysées avec le détachement requis ; mais suffisamment proche pour permettre d'opérer des corrections, voire des modifications plus importantes. Goldschmidt affirme que les dessins d'esquisse fixent rapidement l'imagerie mentale, la change ou la stabilise au besoin. Elle considère que c'est un processus cumulatif propice aux découvertes et aux réinterprétations :

> «Designers make sketches because the sketch is an extension of mental imagery, and therefore has the freedom of imagery to retrieve previously stored images and to manipulate them rapidly. At the same time, because it leaves a hard trace of these images on a visible surface, and because this is an additive process, the sketching surface soon contains

[94] «Les dessins d'esquisse peuvent être, enfin, des externalisations d'idées. En tant que telles, elles convoient des idées, particulièrement des idées visuelles et spatiales, efficacement. Ils peuvent aussi faciliter la découverte de nouveaux objets et relations, favoriser les nouvelles idées. » Trad.Gouezou

> unforeseen configurations and relationships among the graphic components. The resultant displays are open to new interpretations » (Goldschmidt, 2003, p. 88) [95]

Elle ne dit pas que la correspondance serait littérale. Du point de vue du concepteur, les tâches d'idéation semblent effectivement rendues tangibles par le biais des dessins qui, en retour, rendent compte des processus cognitifs engagés dans des allers-retours, des boucles itératives. Bilda, Purcell et Gero ont recueilli les propos d'un architecte expliquant la quête d'une idée au travers des dessins d'esquisse répétés jusqu'à ce que la solution s'impose comme une étrange révélation :

> «I'd draw a solution on paper and draw it again and again and again. And then the standard process would be to pin them up. And so there's the theatre of your imagination, as a series of not even ideas but how your thoughts are developed through there'. 'Half the process is just drawing it, and drawing it, and drawing it and drawing it. And eventually when you draw it, something sort of creeps out at you». (Bilda et al., 2006, p. 606) [96]

La répétition est présentée ici comme caractéristique du dessin d'esquisse dont l'usage semble calé sur l'évolution d'un processus mental intérieur. Pour décrire ces rapports entre imagination et images externalisées, Eastman reprend les travaux précédents au sujet des représentations externes, avant de pointer le manque d'études rendant compte des caractéristiques de l'imagerie mentale :

> « It is generally assumed that the manipulation of external representations is only a partial depiction of what is going on mentally. The "real" structure of the design task resides in the designer's head (Lawson 97, c 8; Dorst 97, c 2; Downing 87). Cognitive models of thinking assume that external representations are auxiliary structures enhancing but not necessarily isomorphic to the designer's own knowledge structure. » (Eastman, 2001, p. 151) [97]

Eastman pointe les décalages et les manquements entre les représentations et les images mentales qu'elles tentent de restituer, puis il souligne ensuite le manque d'études de protocole de conception concernant ces « gaps » ou ces images mentales :

> «In design education, it should be the designer's mental representation of the context and current design that are the main concerns. These types of issues deal with mental processes usually not articulated in the data collected in a design protocol study. While protocol studies

[95] « Les concepteurs font des esquisses parce que l'esquisse est une extension de l'imagerie mentale, et a donc le libre accès à l'imagerie pour récupérer des images précédemment stockées et les manipuler rapidement. En même temps, parce qu'elle laisse une trace tangible de ces images sur une surface visible, et parce qu'il s'agit d'un processus additif, la surface d'esquisse contient rapidement des configurations et des relations imprévues entre les composants graphiques. Les affichages des résultats sont ouverts à de nouvelles interprétations. »

[96] « Je dessinais une solution sur papier, et je la dessinais encore et encore et encore et encore. Et ensuite, le processus standard serait de les épingler. Il y a donc le cinéma de votre imagination ne contenant pas encore des idées mais des pensées en développement. La moitié du processus consiste simplement à le dessiner, et à le dessiner, et à le dessiner et à le dessiner. Et finalement, quand tu le dessines, quelque chose d'étrange s'impose à toi » Trad.Gouezou

[97] « On suppose généralement que la manipulation des représentations extérieures n'est qu'une représentation partielle de ce qui se passe mentalement. La structure "réelle" de la tâche de conception réside dans la tête du concepteur (Lawson 97, c 8 ; Dorst 97, c 2 ; Downing 87). Les modèles cognitifs de la pensée supposent que les représentations externes sont des structures auxiliaires qui rehaussent la structure des connaissances du concepteur, mais qui ne sont pas nécessairement isomorphes par rapport à la sienne. » trad.Gouezou

> have allowed identification of the different external representations used (Ballay 87; Goel 95), there have been no traditional protocol studies to my knowledge that have shed light into the internal representations used by designers.» (Eastman, 2001, p. 151)[98]

Loin de se correspondre l'une l'autre, les images mentales et le dessin d'esquisse présentent un rapport ambivalent tel que l'on peut se demander si l'écart qui les sépare - un hiatus visuel - ne serait pas constitutif de la conception créative. Plus loin, Eastman fait l'assertion que les images comme le langage ou les mathématiques peuvent être assimilées :

> « learned external representations become internalized and become part of the mental representation capabilities available for cognitive processing. They become an additional intrinsic part of our reasoning capabilities. The ability to learn new representations and to internalize them is not limited to written language and high school math. It can also apply to a variety of other special representations. » (Eastman, 2001, p. 159) [99]

Les images sont alternativement intériorisées ou extériorisées sans que l'on sache comment elles sont encodées. Else Verstijnen et son équipe présentent le rôle des représentations externes et particulièrement du dessin d'esquisse :

> « That externalization fulfils a need, is suggested by the fact that most artists and designers use some kind of externalization, e.g. sketching and clay modeling. They consider this essential for their creative process and will report frustration if hindered in doing so. Sometimes, people find their way around this frustration and this is why sketches can be found on backs of envelopes, edges of newspapers, or napkins. Designers have called sketches made in such a situation idea-sketches. In contrast to presentation-sketches, idea-sketches are made in the early phases of design » (Verstijnen et al., 1998, p. 520) [100]

Puis ils postulent que, pour les concepteurs experts en dessin, le processus créatif serait polarisé entre deux tâches mentales principales consistant à restructurer et à combiner. Ils relèvent, à la suite de précédents travaux, que l'imagerie mentale convient mieux aux tâches de combinaisons mais pas à celles de structuration considérée comme plus créatives. Cette limitation de

[98] « Dans l'enseignement du design, ce sont les représentations mentales du concepteur du contexte et du design actuel qui devraient être les principales préoccupations. Ces types de questions portent sur des processus mentaux qui ne sont habituellement pas articulés dans les données recueillies dans le cadre d'une étude de protocole de conception. Si les études protocolaires ont permis d'identifier les différentes représentations externes utilisées (Ballay 87 ; Goel 95), il n'existe à ma connaissance aucune étude protocolaire traditionnelle qui ait mis en lumière les représentations internes utilisées par les designers. » trad.Gouezou

[99] « les représentations externes apprises deviennent intériorisées et font partie des capacités de re présentation mentale disponibles pour le traitement cognitif. Ils deviennent une partie intrinsèque supplémentaire de nos capacités de raisonnement. La capacité d'apprendre de nouvelles représentations et de les intérioriser ne se limite pas au langage écrit et aux mathématiques au secondaire. Elle peut également s'appliquer à diverses autres représentations spéciales. » Trad.Gouezou

[100] « Ce besoin d'externalisation est suggéré par le fait que la plupart des artistes et des designers utilisent une certaine forme d'externalisation, par exemple le croquis et la sculture en argile. Ils considèrent que c'est essentiel pour leur processus créatif et feront part de leur frustration s'ils sont gênés dans leur démarche. Parfois, les gens se débrouillent pour contourner cette frustration et c'est pourquoi on peut trouver des croquis au dos des enveloppes, sur les bords des journaux ou sur les serviettes de table. Les concepteurs ont appelé de telles esquisses "esquisses d'idées". Contrairement aux esquisses de présentation, les esquisses d'idées sont réalisées dans les premières phases de la conception. » Trad.Gouezou

l'imagerie mentale justifie le recours à l'externalisation de l'imagerie pour la structuration sous la forme d'esquisse d'idée.

> «Chambers and Reisberg's results [[101]NDLR], therefore, argue for limitations on discovery in mental imagery, as compared to visual perception, and hence for a major role for sketching in discovery. » (Verstijnen et al., 1998, p. 523)[102]

Autant dire que les dessins favorisent les découvertes par rapport à l'imagerie mentale. Cette limitation de l'« œil intérieur » est corroborée par le modèle *Genplore* de Purcell et Gero :

> « the rates with which creative forms are generated by mental synthesis is quite low (between 10 and 20%). » (Purcell and Gero, 1998, p. 424) [103]

Ce modèle est comparable à celui de Goldschmidt pour mesurer la dialectique de l'esquisse (Goldschmidt, 1991a)

> « The Genplore model also clearly identifies mental synthesis as a dynamic process that alternates between generating preinventive forms and exploring their implications. This concept clearly parallels the dialectic process that has been identified in design protocols. In the Genplore model it is considered that reinterpretation can occur both during the generate and explore phases. » (Purcell and Gero, 1998, p. 424) [104]

Le modèle de Purcell et Gero identifie la synthèse mentale comme un processus entre la génération d'idée et leur exploration. La réinterprétation peut se produire à la fois pendant les phases de génération et d'exploration. Selon Purcell et Gero, la tâche de synthèse mentale semble abordable dans les limites de la mémoire de travail et donc ne requière pas le recours au dessin d'esquisse. Cependant, le fait de dessiner favoriserait la réinterprétation perceptuelle. L'esquisse d'idées n'offre pas d'intérêt aux taches de combinaisons mais améliore les tâches de structuration

> «Reed and Johnsen [[105]NDLR] showed that the extraction of an unanticipated novel component is difficult in imagery, as compared to visual perception » (Verstijnen et al., 1998, p. 523) [106]

Précisons qu'imagerie signifie imagerie intérieure ou imagination tandis que perception visuelle fait référence aux représentations externes, soit aux dessins. Reed et Johnsen ont montré que les variantes sont moins bien identifiées par l'imagerie mentale, que les modifications sont donc moins bien prises en charge rendant plus difficile les découvertes :

---

[101] (Chambers and Reisberg, 1985)
[102] « Les résultats de Chambers et Reisberg plaident donc en faveur d'une limitation de la découverte dans l'imagerie mentale par rapport à la perception visuelle, et donc d'un rôle majeur du dessin dans la découverte. » Trad.Gouezou
[103] « le taux avec lequel les formes créatives sont générées par la synthèse mentale est assez faible (entre 10 et 20%). » Trad.Gouezou
[104] « Le modèle Genplore est aussi clairement identifies la synthèse mentale comme un processus dynamique qui alterne entre la génération de formes préinventives et l'exploration de leurs implications. Ce concept est clairement parallèle au processus dialectique qui a été identifié dans les protocoles de conception. Dans le modèle Genplore, on considère que la réinterprétation peut se produire pendant les phases de génération et d'exploration. » Trad.Gouezou
[105] (Reed and Johnsen, 1975)
[106] « Reed et Johnsen […] ont montré que l'extraction d'un nouvel élément inattendu est difficile en imagerie, comparativement à la perception visuelle. » Trad.Gouezou

> «Reed and Johnsen [[107]NDLR] showed that an alternative composition was not recognized in mental imagery […] mental imagery faces considerable difficulty in restructuring the initial conception of a pattern, and hence to discover new information in a mental image. » (Verstijnen et al., 1998, p. 524) [108]

Reed et Johnsen considèrent les représentations externalisées, et le dessin d'esquisse particulièrement, comme adaptés à la détection de nuances, au développement de modifications et favoriseraient les nouvelles idées. Verstijnen et al évaluent deux séries de facteurs : les facteurs intelligents ou *smart factor* - comprenant le spectre de la mémoire à court terme, la détection « intégrée » et la mesure de précision sans structuration - et les facteurs artistiques ou *arty factors* comprenant la quantité d'esquisses, la créativité et la restructuration, soit la création de nouvelles pièces. Lors des tâches créatives de structuration, les facteurs artistiques ont été cinq fois plus importants que les facteurs intelligents, suggérant que les tâches de structuration sont de nature créative et sont possiblement associées au recours à l'esquisse d'idées. Les représentations externes peuvent donc être inspectées, contrairement aux images mentales :

> « inability to perform restructuring in mental imagery constitutes a major factor in the usefulness of sketching. Not only severe restructuring, such as novel decomposition, is supported by sketching, also lighter forms of restructuring, such as occurred in the Figural Combination Task, are improved by externalization. When mental images are projected in sketches, new structures can be seen in the sketches which could not be obtained from the mental images before the projection » (Verstijnen et al., 1998, p. 532) [109]

Ceci suggère que les capacités mnémoniques liées aux facteurs intelligents seraient peu associées aux tâches créatives et à l'esquisse d'idées, ce que contrediront les recherches de Suwa et Tversky. Ceci justifie aussi l'intérêt de l'externalisation des images afin de pouvoir visualiser son potentiel créatif et conceptuel. Les opérations de structuration sont améliorées par l'esquisse, qui compense les limitations de l'imagerie mentale. En revanche, l'esquisse n'est pas requise dans les opérations combinatoires. De là, les auteurs distinguent l'imagerie mentale parfois appelée « œil intérieur » de l'imagerie externalisée sous la forme d'esquisse dont la rapidité correspond à la soudaineté des idées créatives :

> « The combining process is easy to perform in mental imagery and is not supported by sketching. The restructuring process is difficult to perform in mental imagery and is enhanced by sketching. That restructuring is the difficult part, is confirmed by the fact that only experts are

[107] (Reed and Johnsen, 1975)
[108] « Reed et Johnsen ont montré qu'une composition alternative n'était pas reconnue en imagerie mentale. […] l'imagerie mentale est confrontée à des difficultés considérables dans la restructuration de la conception initiale d'un modèle, et donc de découvrir de nouvelles informations dans une image mentale. » Trad.Gouezou
[109] « L'incapacité à restructurer l'imagerie mentale constitue un facteur majeur de l'utilité du croquis. Non seulement les restructurations sévères, comme la décomposition inédite, sont soutenues par l'esquisse, mais aussi les restructurations plus légères, comme celles de la Tâche Combinaison Figurale, sont améliorées par l'externalisation. Lorsque des images mentales sont projetées dans des esquisses, de nouvelles structures peuvent être vues dans les esquisses qui n'ont pu être obtenues à partir des images mentales avant la projection. » Trad.Gouezou

aided in performing it by sketching. The two processes of combining and restructuring together constitute important elements of the creative process » (Verstijnen et al., 1998, p. 542) [110]

Le processus de combinaison correspond mieux à l'imagerie mentale mais pas le processus de restructuration qui nécessite le dessin d'esquisse. Cette restructuration par le dessin est jugée comme une aptitude experte.

2.1.3. Croquis Mémoire de travail et mémoire à long terme

Le facteur temps influe fortement sur le processus de conception et particulièrement sur les dessins d'esquisse et peuvent être considérés comme un moyen de consigner la mémoire d'un projet. Plusieurs temporalités concernent la cognition du concepteur, des temps courts et des temps longs se croisent, faisant s'entrechoquer des focalisations momentanées lié à une action en cours, un problème spécifique et des focalisations à temps long impliquant des intentions de projet, le corpus de connaissance et l'expérience du concepteur expert. Nous argumentons ici que le dessin d'esquisse est le *medium* adéquat pour gérer les conduites attentionnelles de ces différents agendas du concepteur. Tversky nous donne des indications sur les fonctions dynamiques et statiques du croquis, notamment pour gérer le rapport entre le flux des idées et la mémoire qu'elles mobilisent :

« Sketches are a useful tool for checking and conveying ideas, for self and others. They also serve as an external display to facilitate inference and discovery, to go from the intended to the unintended, to go from the seen to the unseen. Sketches for design or for diagrams are structured. They consist of elements or segments that can be combined to create a wide range of meanings. The elements are often simply schematic figures such as lines and blobs whose meanings are readily interpretable from their geometric and Gestalt properties. Such sketches have some of the structure of spoken language. Unlike language, however, sketches convey figural and relational properties directly, facilitating memory, inference, and discovery. » (Tversky, 2002, p. 13) [111]

Viollet-Le-Duc voyait ainsi le dessin comme un système de prise de note lié à la mémoire :

« Pour moi, le dessin est simplement un moyen de consigner les observations à l'aide d'un langage qui les grave dans l'esprit et permet de les utiliser, quelle que soit la carrière que l'on embrasse » (Viollet-le-Duc, 1879, p. 79)

[110] « Le processus de combinaison est facile à réaliser en imagerie mentale [œil intérieur, NDLR] et n'est pas soutenu par le croquis. Le processus de restructuration est difficile à effectuer dans l'imagerie mentale et est renforcée par l'esquisse. Cette restructuration est la partie difficile, ce qui est confirmé par le fait que seuls les experts sont aidés dans sa réalisation par le croquis. Les deux processus de combinaison et de restructuration constituent des éléments importants du processus créatif » Trad.Gouezou

[111] « Les croquis sont un outil utile pour vérifier et transmettre des idées, pour soi-même et pour les autres. Elles servent aussi de vitrine externe pour faciliter l'inférence et la découverte, pour passer de l'intentionnel à l'involontaire, pour passer du vu à l'invisible. Les croquis pour la conception ou pour les diagrammes sont structurés. Ils se composent d'éléments ou de segments qui peuvent être combinés pour créer un large éventail de significations. Les éléments sont souvent de simples figures schématiques telles que des lignes et des taches dont la signification peut être facilement interprétée à partir de leurs propriétés géométriques et de Gestalt. De telles esquisses ont une partie de la structure de la langue parlée. Contrairement au langage, cependant, les esquisses transmettent directement des propriétés figuratives et relationnelles, facilitant la mémoire, l'inférence et la découverte. » Trad.Gouezou

Le besoin d'enregistrer le fil des idées de conception au cours du processus de conception, soulagerait la mémoire selon Baskinger qui voit le carnet de croquis comme le répertoire d'idées dédié au projet :

> «Most designers actively keep sketchbooks or journals to record ideas and thoughts that can be brought back to the studio to build upon. These sketchbooks serve a variety of functions, but most important, they serve as a personal repository of ideas to communicate back to the designer » (Baskinger, 2008, p. 31) [112]

Goldschmidt résume ainsi les apports de la représentation par esquisse du point de vue de la mémoire :

> «The individual designer who sketches in order to support his or her own thinking may use a personal "shorthand" that permits sketches to remain vague and abstract, which in turn allows him or her to stay non-committal – an advantage in the early phases of the design process. Sketches can be made in short or long sequences, thus encouraging search for as long as necessary. If need be, sketches can be easily discarded, as the effort involved in their making is modest, thus assisting in the making of a fresh start when one is called for. Sketching is, therefore, most economical in terms of cognitive goal-oriented activity, which explains its wide and universally extensive use in designing (Goldschmidt 2002) » (Goldschmidt, 2004, p. 206) [113]

Si une idée représente une charge cognitive, il devient nécessaire d'organiser les flux d'idées étant donné la fragilité et les limites des capacités mnémoniques. Charlotte de Bergh cite Viollet-Le-Duc décrivant ce caractère instantané du croquis qui, saisissant au vol les idées, permet de les formaliser, de les partager avec tous, et de les enregistrer. Charlotte de Bergh :

> « […] le dessin est un des moyens les plus rapides de communiquer la pensée et, en même temps, un des plus sûrs […] Il y a donc là, je le répète, un langage nécessaire que tout le monde doit pratiquer, qu'elle que soit sa position sociale ; qu'on soit un travailleur manuel, un ouvrier, ou qu'on suive une carrière plus élevée : le dessin est une nécessité qui s'impose à tous. […] Il s'agit d'un art positif, qu'on peut exercer d'une manière médiocre mais encore utile. » Viollet-le-Duc in (De Bergh, 2013, p. 156)

Kiviniemi et Fischer citent Fallman qui considère que le dessin est un support majeur de la cognition de l'architecte :

---

[112] « La plupart des concepteurs tiennent activement des carnets de croquis ou des journaux pour enregistrer les idées et les pensées qui peuvent être ramenées au studio pour y être exploitées. Ces carnets de croquis remplissent diverses fonctions, mais le plus important est qu'ils servent de répertoire personnel d'idées à communiquer au concepteur. » Trad.Gouezou

[113] « Le concepteur individuel qui dessine pour étayer sa propre réflexion peut utiliser une abréviation personnelle qui permet aux esquisses de rester vagues et abstraites, ce qui lui permet de ne pas trop s'engager, ce qui est un avantage dans les premières phases du processus de conception. Les croquis peuvent être réalisés en séquences courtes ou longues, ce qui encourage la recherche aussi longtemps que nécessaire. Au besoin, les esquisses peuvent être facilement jetées, car l'effort nécessaire à leur réalisation est modeste, ce qui permet de prendre un nouveau départ quand on en a besoin. Le croquis est ainsi plus économique en termes d'activité cognitive avec un objectif, ce qui explique son utilisation répandue et universelle dans la conception (Goldschmidt 2002). » trad. Gouezou

> « Designers do not just learn to make drawings; they learn to think through drawings (Fallman 2003: 229)» (Fallman, 2003) In (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 48)[114]

Rudolph Arnheim dissocie les images mentales « internes » des dessins et représentations extériorisés par leur faible poids et leur rapidité de traitement conséquent ; il en résulterait une « volatilité » ou fugacité des idées portées par les images mentales qui justifie de tenter de les capturer par le dessin avant qu'elles ne s'effacent :

> «percepts recorded by the eyes by their reduced intensity. They are fugitive, easily wiped off the slate of memory and, therefore, they offer a freedom not granted to optical percepts, especially in their dealings with space. Mental images can handle visual objects as though they were weightless. They can display them with ease from any angle or at any distance, as long as the person's visual imagination is sufficiently concrete. They can ignore gravity, if they so choose » (Arnheim, 1993, pp. 15–16) [115]

Cette métaphore de l'ardoise de la mémoire est saisissante car elle comporte l'aspect éphémère du support qui, chargé de traits, devra immanquablement être effacé pour faire place à d'autres dessins. Ceci semble correspondre au concept de mémoire à court terme ou mémoire de travail telle qu'elle a été modélisée par Baddeley (Baddeley, 1992). Bilda Gero et Purcell ont recueilli les propos d'un architecte devant concevoir sans pouvoir recourir au dessin et avec sa seule imagerie interne. Il exprime ainsi l'inscription des idées abstraites sur un support concret :

> « I can't hold in my head any visual memory of what the precise geometry of these spaces'. 'Can I find a pencil somewhere?' Umm, (35.03) 'because all I've got in my mind are these pathetic little lines that just keep dissolving and I want something concrete' » (Bilda et al., 2006, p. 607) [116]

Evoquant quelques précédents notoires qui illustrent la soudaineté des découvertes créatives, Ilse Verstijnen et son équipe - à laquelle a participé Gabriella Goldschmidt - ont souligné le caractère inattendu de la découverte, à l'exemple du « flash » ou Eureka du mathématicien Poincaré survenu au moment de grimper dans un bus, sans aucune possibilité d'écrire ou dessiner :

---

[114] « Les concepteurs n'apprennent pas juste à dessiner ; ils apprennent à penser au travers des dessins ». Trad.Gouezou

[115] « Les dessins sont des percepts visuels tangibles, et c'est leur relation aux arguments qui est la préoccupation principale de cette présente discussion. Les images mentales dérivent de ces percepts optiques, mais ils n'en sont pas des copies identiques. Mach les décrit comme des aboutissements et des élaborations nécessaires de percepts. Ils diffèrent des percepts optiques enregistrés par les yeux par leur intensité réduite. Ils sont fugaces, facilement effacé de l'ardoise de la mémoire et, pour cela, ils offrent une liberté que ne peut fournir les percepts optiques, spécialement dans leur rapport à l'espace. Les images mentales peuvent porter les objets visuels comme s'ils ne pesaient rien. Elles peuvent les afficher avec aisance de n'importe quel angle ou distance, autant que l'imagination visuelle de la personne reste suffisamment concrète. Elles peuvent ignorer la gravité, si elles le choisissent. » Trad.Gouezou

[116] « Je n'arrive pas à me souvenir visuellement de la géométrie précise de ces espaces". "Je peux avoir un crayon quelque part ? Umm, (35.03)' parce que tout ce que j'ai en tête, ce sont ces petites lignes pathétiques qui continuent à se dissoudre et je veux quelque chose de concret »

> «The search for limitations in processing has been pioneered by Anderson and Helstrup [117,118 NDLR]. They proposed resource limitations to be the decisive impetus for sketching. Resource limitations, for example, are encountered when memory fails to keep track of a growing information load. In their experiments, however, these authors failed to obtain support for a crucial role of resource limitations in sketching. » (Verstijnen et al., 1998, p. 522) [119]

Une charge cognitive excessive justifierait le recours au dessin d'esquisse. Les auteurs se demandent quelles seraient les limites des processus mentaux nécessitant le recours à l'esquisse:

> « the mental operations leading to discovery are viewed as a set of operations on a mental image. Sketching is needed if the operations cannot be done within mental imagery alone, or if the operations are much easier to perform externally. » (Verstijnen et al., 1998, p. 522) [120]

L'imagination ou imagerie mentale opposerait donc à la cognition des limites mnémoniques que les dessins d'esquisse peuvent repousser. Purcell et Gero (Purcell and Gero, 1998) ont passé en revue les travaux corrélant dessin d'esquisse et mémoires, notamment ceux de Milner établissant la limite de la capacité de la mémoire de travail ou mémoire à court terme à sept « blocs » d'information, limitation impactant la capacité de résolution de problème (Simon, 1969) (Newell and Simon, 1972) reposant sur cette même mémoire de travail (MDT) qui réagit à une situation ou problème de conception et se le représente. Un autre type de mémoire, plus étendue, comporte les connaissances et l'expérience liés au processus de résolution de problème, elle est nommée mémoire consolidée ou mémoire à long terme (MLT), plus lente mais plus étoffée en informations. Les échanges entre MCT et MLT s'organisent selon divers modèles dont celui d'Alan Baddeley (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010) qui prédomine. Partant de recherches en phonologie, ce modèle de Baddeley est fondé sur les échanges entre les mémoires de court et de long terme suivant un traitement séquentiel apte à supporter une pensée complexe où les actions précédentes s'inscrivent dans la mémoire à plus long terme où la récupération d'idées est relativement lente (Simon, 1969), (Newell and Simon, 1972). Le modèle de Baddeley (Cf. Figure 4) propose que les activités cognitives directement liées à la pensée et à la résolution de problèmes se déroulent dans l'« administrateur central » (*central executive*) s'appuyant sur le tampon épisodique (*episodic buffer*) où les résultats partiels de ces processus et les idées nécessaires provenant de la mémoire à long terme sont conservés séparément dans des stockages ou caches. Les deux fonctions majeures de l'« administrateur central » sont le suivi et d'ordonnancement de l'exécution de tâches selon des objectifs et sous-

[117] (Anderson and Helstrup, 1993a)
[118] (Anderson and Helstrup, 1993b)
[119] « Anderson et Helstrupétaient les premiers - dans le cadre du traitement de l'information en psychologie - à explorer systématiquement le champ de l'esquisse d'idéation. Leur proposition fondamentale était que la décision d'esquisser est prise lorsque le traitement créatif se heurte aux limites de ressources [cognitives, ndlr].» Trad.Gouezou
[120] « les opérations mentales menant à la découverte sont considérées comme un ensemble d'opérations compris dans une image mentale. L'esquisse est nécessaire si les opérations ne peuvent pas être effectuées uniquement à l'aide de l'imagerie mentale ou si les opérations sont beaucoup plus faciles à effectuer à l'extérieur. » Trad.Gouezou

objectifs. En raison de la limitation de retenue de blocs d'idées de la mémoire à court terme, les idées stockées dans les caches ont besoin d'être rafraîchies pour être conservées.

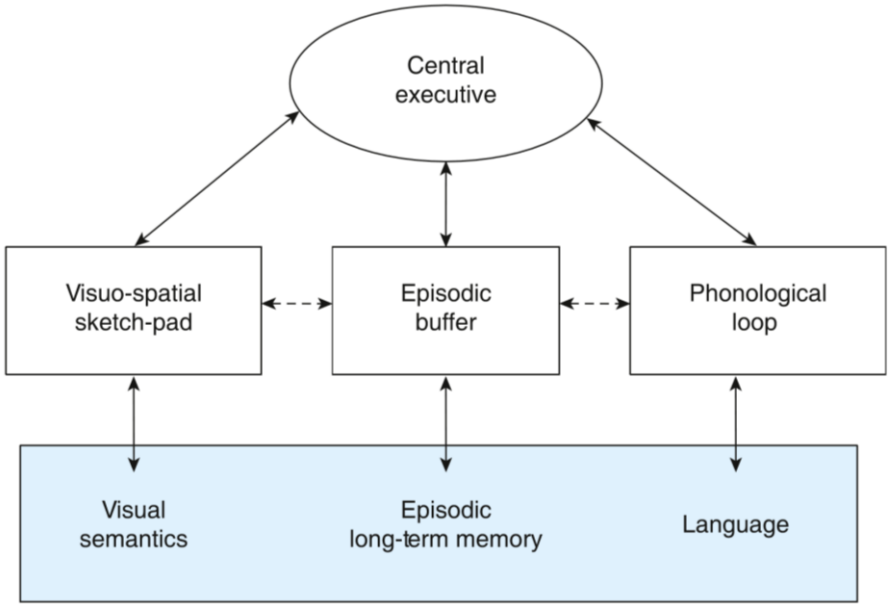


Figure 4 Modèle de Baddeley réactualisé (la mémoire tampon épisodique). (Baddeley, 2010)

La boucle phonologique, langagière, travaille par répétition ou sous-vocalisation, qui consiste essentiellement à se parler à soi-même, et la boucle graphique maintient le lien entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme dans des zones de stockage ou « tampon » (*buffer*). Notons l'importance du sens associé aux mots lorsqu'il s'agit de solliciter la mémoire à long terme, laissant supposer qu'il soutient l'effort de mémoire :

> « la boucle phonologique a deux caractéristiques principales. La première est un stockage dans lequel des traces de mémoire de type vocal sont enregistrées et s'estompent spontanément en deux secondes environ. Le second est un processus par lequel ces traces peuvent être rappelées par une répétition verbale ou sub-vocale, une activité qui se déroule en temps réel. […] la longueur de la liste est portée à dix mots et que plusieurs essais d'apprentissage sont autorisés, ce qui oblige à se fier à la mémoire à long terme, la tendance s'inverse, le sens devenant le facteur crucial» (Baddeley, 2010, p. 138)

La sémantisation d'éléments consolide donc leur retenue, renforce la mémoire. Une seconde boucle visuo-spatiale que Baddeley qualifie de carnet de croquis (*sketchbook*), est composée d'informations spatiales ou non spatiales (e.g couleur). Il est admis que l'« administrateur central » comporte d'autres boucles aux aspects sémantiques, conceptuels et propositionnels, boucles dotées d'un mécanisme semblable d'extraction et de stockage d'informations. Relativement au modèle de Baddeley, les différents types de documents sont amenés et intégrés au traitement de l'« administrateur central » à partir de la « boucle phonologique » ou du « carnet de croquis visuo-spatial ». Il peut y avoir une commutation entre deux ensembles de ressources associés aux différents types de traitement.

> «the episodic buffer […] is capable of holding multidimensional episodes or chunks, which may combine visual and auditory information possibly also with smell and taste. It is a buffer in that it provides a temporary store in which the various components of working memory, each based on a different coding system, can interact through participation in a multidimensional code, and can interface with information from perception and long-term memory. The episodic buffer is assumed to have a limited capacity of about four chunks or episodes, and to be accessible through conscious awareness. » (Baddeley, 2010, p. 138) [121]

Purcell et Gero, sur la base des travaux de Reisbeirg et Logie (Reisberg and Logie, 1993) , envisagent que la vision ne soit pas dotée d'un équivalent de la " voix intérieure " propre à l'audition qui peut stimuler l' « oreille intérieure » (Purcell and Gero, 1998). Cette disparité entre la « boucle phonologique » et le carnet de croquis « visuo-spatial » relatifs au modèle de Baddeley peut laisser supposer que l'approche langagière dispose d'un accès direct à la conscience via la voix et l'oreille intérieure qui justifierait l'hypothèse du bénéfice de l'association entre le dessin d'esquisse et le langage. Selon Goel, la structuration des problèmes est fondée sur le programme architectural et les aspirations du concepteur. Il associe les activités de structuration de problème (*problem structuring*) à la mémoire à long terme qui renferme les connaissance et l'expérience :

> «*Problem structuring* is the process of retrieving information from long-term memory and external memory and using it to construct the problem space; that is, to specify start states, goal states, operators, and evaluation functions. Problem structuring, as compared to problem solving, relies heavily on the client and design brief as sources of information, considers information at a higher level of abstraction, makes fewer commitments to decisions, and involves a higher percentage of add and propose operators. One particularly interesting strategy for problem structuring is reversing the direction of the transformation function. » (Goël, 1995, p. 125) [122]

Se basant sur les travaux de Herbert Simon, Purcell et Gero proposent que la résolution de problèmes de conception recouvre trois tâches distinctes : la décomposition, le traitement séquentiel et à l'utilisation d'aides mémoire externes, supposant que l'« administrateur central » de la MDT impliquant une planification des objectifs et sous-objectifs. Ils y associent différentes études dont celle de Vinod Goel ayant identifié quatre étapes du processus de

[121] « le tampon épisodique [...] est capable de contenir des épisodes ou des blocs multidimensionnels, qui peuvent combiner des informations visuelles et auditives, éventuellement aussi avec l'odorat et le goût. Il s'agit d'une mémoire tampon en ce sens qu'elle fournit une mémoire temporaire dans laquelle les différents composants de la mémoire de travail, chacun basé sur un système de codage différent, peuvent interagir en participant à un code multidimensionnel, et peuvent s'interfacer avec les informations de la mémoire de perception et à long terme. On suppose que le tampon épisodique a une capacité limitée d'environ quatre morceaux ou épisodes, et qu'il est accessible par la conscience consciente. » Trad.Gouezou

[122] « La structuration du problème est le processus qui consiste à extraire des informations de la mémoire à long terme et de la mémoire externe et à les utiliser pour construire l'espace du problème, c'est-à-dire pour spécifier les états de départ, les états des objectifs, les opérateurs et les fonctions d'évaluation. La structuration des problèmes, par rapport à la résolution de problèmes, repose fortement sur le client et le cahier des charges comme sources d'information, considère l'information à un niveau plus élevé d'abstraction, prend moins d'engagements dans les décisions et implique un pourcentage plus élevé d'opérateurs d'ajout et de proposition. Une stratégie particulièrement intéressante pour structurer les problèmes consiste à inverser la direction de la fonction de transformation. » Trad.Gouezou

conception : la structuration des problèmes, la conception préliminaire, la conception affinée et la conception détaillée (Goel, 1995, p. 97). Ce processus de variations cyclique et systématique tend à être déclenché par un changement de focalisation. Suwa et Tversky (Suwa and Tversky, 1997b) identifient l'utilisation d'informations abstraites, conceptuelles et codées verbalement, et de matériaux visuels et perceptuels alternativement.

2.1.4. Comparer la conception créative avec ou sans dessin d'esquisse

Pour en apprendre plus sur le rôle du dessin d'esquisse sur la conception experte, nous pouvons mentionner les travaux de Zafer Bilda, Terry Purcell et John Gero (Bilda et al., 2006) qui ont mené une étude destinée à évaluer les performances des images mentales et de comparer les performances de conception avec ou sans dessin, c'est-à-dire de l'imagerie mentale par rapport à l'extériorisation d'images par les dessins - e.g. une esquisse -. Les catégories d'actions évaluées comprennent les actions physiques, qui se réfèrent au dessin et à la recherche ; les actions perceptuelles, qui se réfèrent à l'interprétation de l'information visuelle ; les actions fonctionnelles, qui se réfèrent à l'attachement du sens aux choses ; et les actions conceptuelles, qui se réfèrent à la planification des actions et à l'initiation des actions pour les décisions de conception, qui sont quatre catégories tirées d'une étude précédente (Suwa et al., 1998). Deux nouvelles catégories , « évaluatif » (*evaluative*) et « Rappel » (*recall*), sont introduites ici (Bilda et al., 2006). Il n'y a eu aucune différence significative entre l'esquisse et l'activité de conception les yeux bandés en termes de résultats de conception, et du nombre total d'actions cognitives (à l'exception de l'activité de rappel) :

> «This case study has shown that there were no significant differences between sketching and blindfolded design activity in terms of design outcome scores, total number of cognitive actions (except for recall activity) and overall density of idea production. This result cannot be generalized to all architects/designers or all phases of design activity due to the small scale of the experiment » (Bilda et al., 2006, p. 605)[123]

Ces résultats s'expliqueraient par l'expertise des participants qui leur permet de s'appuyer sur leur mémoire à long terme (*long-term working memory* ou LTWM) abritant leurs connaisances et expérience, performant pour récupérer et utiliser de blocs cognitifs dynamiques. La LTWM hypothétique qu'on attribue parfois aux joueurs d'échec confirmés capables de mener les yeux fermés une dizaine de parties d'échec simultanément se situe entre la mémoire à court terme et la mémoire à long terme établies par le modèle de Baddeley (Baddeley, 1992), (Baddeley, 2010)[124]. Plus prosaïquement, une autre expérience de Gero (Bilda and Gero, 2005) a révélé qu'après vingt minutes d'imagerie mentale avec les yeux bandés, l'activité des architectes diminuait par rapport à leur séance menée avec le dessin d'esquisse. Cette baisse de performance s'explique par des sollicitations cognitives supérieures lorsque les yeux étaient

[123] « il n'y avait pas de differences significatives entre l'esquisse et l'activité de conception les yeux bandés en termes de résultats de conception, de nombre total d'actions cognitives (sauf pour l'activité de rappel) et de densité globale de production des idées. Ce résultat ne peut être généralisé à tous les architectes/concepteurs ou à toutes les phases de l'activité de conception en raison de la petite échelle de l'expérience.»
[124] Cf. section 2.1.3

bandés. L'externalisation semble utile pour décharger la mémoire de travail visuo-spatiale et, pour cette même raison, les dessins jouent un rôle important dans la conception. Revenant à l'étude de Bilda, Gero et Purcell qui vérificatie l'utilité du dessin d'esquisse, notons que les architectes experts pouvaient s'en passer et performer tout aussi bien grâce à leur imagerie mentale, conformément aux données de la répartitions des actions de conception:

	Perceptual (%)	**Functional (%)**	**Conceptual (%)**	**Evaluative (%)**	**Recall (%)**	**Total number**
BF_01	27.2	39.6	8.9	13.6	10.6	1366
SK_01	30.8	37.7	14.1	12.4	4.9	1307
BF_02	26.1	40.7	10.7	14.0	8.5	1417
SK_02	25.7	40.5	9.6	20.6	3.6	1414
BF_03	23.6	44.0	9.3	17.0	6.2	1359
SK_03	31.2	43.5	8.3	14.7	2.3	1064
SK Average	29.2	40.6	10.7	15.9	3.6	
BF Average	25.6	41.4	9.6	14.9	8.4	

Figure 5 tableau (*table 6*) « Pourcentages d'occurrence de catégories d'action » extrait de (Bilda et al., 2006, p. 72). BF= blinfolded=masqué; SK= sketch= esquisse.

Nous considérons les mesures correspondant aux lignes d'esquisse (*sketching* ou SK) répartissant les tâches selons cinq catégories distinctes avec des résultats que nous arrondissons : perceptuel 30%, fonctionnel 40%, conceptuel 11%, évaluation 16% et rappel 4%). Dans le cas de la conception les yeux masqués (BF), les résultats sont sensiblement les mêmes à ceci près que les tâches perceptuelles s'estompent logiquement au profit des tâches de rappel. Les résultats montrent la prévalence des tâches liées aux fonctionalités, puis à la catégorie perceptuelle, puis à la marge les tâches d'évaluation, les tâches conceptuelles puis de rappel. Cette répartition pourrait être comparée à celle obtenue sur d'autres modalités d'esquisse. Chez les concepteurs experts, il n'y a pas de différence entre les séances menées avec ou sans le recours au dessin d'esquisse. Externaliser ses idées par des dessins ou des plans peut donc correspondre à une commodité de délégation et de délestage de la charge cognitive vers le dessin utile mais pas indispensable, l'expertise permettant de compenser mentalement l'absence de support graphique extérieur. Sans artefact « tiers » entre l'architecte et son projet, sans dessin pour soutenir les allers-retours entre l'imagination et la perception des images externalisées. Etant donné la rapidité des phénomènes cognitifs, le dessin d'esquisse étant peut-être utile mais pas nécessaire, il semble probable qu'aucun medium informatisé ne peut pour l'instant suivre la vitesse des idées de l'architecte.

2.1.5. La notion de représentation en architecture

Concernant les documents supportant ce travail de conception, une analogie entre le plan d'architecte et la partition du musicien peut éclairer le statut transitoire et anticipatoire de ces documents. Le croquis pourrait ainsi être abordé dans sa dynamique téléologique en tant que

support intermédiaire visant la réalisation ultérieure du projet d'architecture, il n'est pas une finalité mais un moyen du *projet*. Le Moigne expose cette dimension « médiatique » qui caractérise la représentation, ou présentation, visant cet objet absent qu'est le projet :

> « Tout acte de représentation par des systèmes artéfactuels de symboles est téléologique, à dessein, intentionnel. Si par exemple je dessine une hélice d'hélicoptère, ce sera à dessein de (me) montrer et souvent de comprendre comment et pourquoi cet engin peut monter dans l'air. » (Le Moigne, 2001)

Le dessin d'esquisse porte l'expression suffisante pour rendre sensible, intelligible et crédible les intentions architecturales. Il exprime la tension existante entre la situation existante et celle désirée comme une tension entre l'image mentale et son externalisation. La représentation de l'architecture se fait sur la base d'objets graphiques nécessitant une interprétation suivant des conventions de dessin. Boudon considère la nature changeante des signes et de leur interprétation :

> « La majorité des signes de la figuration architecturale sont ambivalents, ils sont partiellement symboliques et partiellement iconiques. C'est dire que la convention ne porte pas sur un arbitraire absolu du signe. L'ambiguïté peut non seulement être intrinsèque au signe, mais encore caractérise la multiplicité des signes : dans une même figure, certains signes sont iconiques, d'autres ne le sont pas. » (Boudon and Pousin, 1988, p. 48)

Symbolique est entendu ici comme l'expression du signe qui n'induit pas de ressemblance avec son objet, ce lien étant fait par l'interprétant ; l'icône présente, au contraire, une forme de ressemblance avec son objet. Boudon dit l'ambivalence des représentations architecturale figurant des propriétés abstraites, intangibles ou au contraire concrètes : les possibilités d'interprétation et les nuances possibles semblent infinies. Gabriela Goldschmidt associe fortement les notions de représentation et de conception, point de vue selon lequel on pourrait considérer que la représentation serait le « cœur de métier » de l'architecte :

> « Designers represent – and design representations are made – before, during, and after the process of designing any entity, regardless of whether the designed entity is being constructed, manufactured, or assembled as a "real" product. In fact, the ultimate design goal is to arrive at a satisfying representation of the designed entity: bringing the "real" entity into being is a task that usually falls into realms other than design, and actors other than designers (e.g., builders and manufacturers) are responsible for it. We may argue that to design is to represent, and in no case is there design without representation. » (Goldschmidt and Porter, 2004, p. 203) [125]

Dans la mesure où - conformément à ce qui peut être observé en agence ou en école d'architecture - l'objet du travail d'architecture consiste effectivement à concevoir un bâtiment

[125] « Les concepteurs représentent - et les représentations de conception sont faites - avant, pendant et après le processus de conception de toute entité, que l'entité conçue soit construite, fabriquée ou assemblée comme un produit " réel ". En fait, le but ultime de la conception est d'arriver à une représentation satisfaisante de l'entité conçue : la réalisation de l'entité " réelle " est une tâche qui relève habituellement d'autres domaines que la conception, et des acteurs autres que les concepteurs (par exemple, les constructeurs et fabricants) en sont responsables. On peut soutenir que la conception c'est représenter, et en aucun cas il n'y a de conception sans représentation.» Trad.Gouezou

et non de le construire, et que le moyen conventionnel admis pour rendre tangible cette abstraction de la conception est sa représentation, il paraitrait déraisonnable de mettre en doute cette assertion de Goldschmidt. Et si l'on invoque l'assertion précédente de Boudon, nous pourrions ajouter que la conception architecturale reposerait essentiellement sur des représentations ambigües, ce qui n'éclaircit pas ce concept de représentation. Or certaines approches sèment le doute quant à ce concept même de représentation. Les travaux épistémologiques consacrés à la notion d'objectivité en sciences de Daston et Galison, et en particulier remettent en cause la notion de représentation tant en sciences qu'en arts. Mais reconnaissons que le domaine architectural use de cette notion de représentation, à l'inverse de celle de présentation pratiquement jamais usitée. La critique des travaux de Daston et Galison par Christian Girard peut fournir des arguments :

> « les auteurs s'en tiennent à l'échelle nano, alors que l'image-outil dont ils observent le développement actuel est à l'œuvre aussi aux échelles macro […] il n'est jamais aisé de quitter vraiment la sphère de la représentation et de l'image, comme s'il fallait toujours penser avec le filtre de l'esthétique, même lorsqu'il s'agit d'une enquête sur l'idée d'objectivité en science.» (Girard, 2014a, p. 271)

Girard invoque le concept d'échelle en reprochant à Daston et Galison de s'en tenir à l'échelle nanométrique alors que les autres échelles jusqu'aux plus grandes sont particulièrement impliquées en architecture, en outre les images scientifiques considérées par Daston et Galison sont des « outils » de probation, laissons supposer que l'image architecturale n'a pas la même fonction d'aide à la manifestation de la vérité scientifique ; nous dirions que l'image architecturale est une représentation qui vise à la manifestation du projet et non de l'objet, dans ce sens, elle est transitoire. Nous pourrions faire valoir cet aspect intentionnel de la conception architecturale où il ne s'agit pas d'étudier un objet tangible mais de faire l'étude servant à l'invention du projet, raison pour laquelle le principe d'équivalence conventionnelle entre le projet et sa représentation est naturellement admis. Pour éclairer la notion de représentation, Dominique Vinck propose le concept d'objet intermédiaire qui est un objet intermédiaire portant la marque des intentions du concepteur et traduit la dynamique de conception :

> « La représentation, via les objets intermédiaires, renvoie à l'idée d'inscription de quelque chose dans la matière de l'objet. L'objet tiendrait ainsi une partie de son sens et de son identité, de ses propriétés de ce qui est inscrit par les acteurs. Cette représentation est, en outre, double ; elle porte sur les processus en amont de l'objet et sur les projections en aval de l'objet. En amont, l'objet intermédiaire représente ceux qui les ont conçus. Il matérialise leurs intentions, leurs habitudes de travail ou de pensée, leurs rapports et leurs interactions, leurs perspectives et les compromis qu'ils ont établis. Parfois, l'inscription est négociée et conventionnelle et constitue un équipement de l'objet. L'objet intermédiaire constitue donc une trace et une marque de ses auteurs et de leurs relations » (Vinck, 2009, p. 56)

Considérer, comme le fait le philosophe Alain Badiou, qui préface l'ouvrage de Daston & Galison *Objectivité*, que l'image est source de problèmes épistémologiques justifiant son évacuation est un postulat problématique si l'on cherche à l'appliquer à l'architecture. Préfaçant

leur ouvrage, Badiou explique en creux que c'est au langage qu'incombe la tâche de faire advenir l'objectivité :

> « Si l'on bannit les images et les représentations, c'est pour insister sur l'importance des formes, voire des modes d'écriture, qui vont permettre, à nouveau, de "parler enfin objectivement ". Il s'agit bien toujours de parler, ou en tous cas d'écrire. » (Latour, 2012, p. 4)

Nous pourrions objecter ici que, dans le domaine architectural, le dessin d'esquisse précède la forme, expliquant en quoi représentation et conception se confondent conformément à l'assertion de Goldschmidt : concevoir c'est représenter (Goldschmidt and Porter, 2004, p. 203). Nous pourrions proposer que les thèses de Daston et Galison ne s'appliqueraient, ou différemment, aux sciences de la conception. Détaillant les cinq[126] régimes de « sub-objectivité » requis dans l'acquisition de connaissance scientifique détaillés par Daston et Galison, Latour s'attarde à commenter le cinquième régime qui considère l'image dynamiquement, prise dans un ensemble d'autres images :

> « Ce dernier régime a ceci de particulier qu'en télescopant toutes les étapes, il révèle l'un des traits de tous les autres que les auteurs, attachés jusqu'ici à l'étude d'images isolées, n'avaient pas encore été mis en évidence. Jamais en effet une image seule n'a de signification en science. Avant qu'on la relie à son référent, à ce qu'elle représente, elle est d'abord reliée à toutes celles, de statuts et de formes différentes, qui la précèdent ou qui la suivent le long de la chaine au nombre vertigineux de maillons qui permet aux sujets connaissant d'accéder aux mondes connus. En annulant la distinction classique entre production et représentation, ce dernier régime révèle ce qui se trouvait distribué, ralenti, compliqué dans tous les autres : la connaissance est un mode d'existence qu'il ne faut confondre avec aucun autre parce qu'elle mêle de mille façons originales aussi bien la distinction entre fabriquer et représenter que celle entre l'objet et le sujet. » (Latour, 2012, p. 4)

Cette disqualification des images peut sembler discutable en architecture où l'objectif n'est pas la production de connaissance mais la clarification d'intentions de projet, une construction mentale traduite par ses représentations. De plus, le concept de projet n'est pas étranger aux domaines scientifiques, il a aussi été lié à la recherche scientifique par Gaston Bachelard qui supposait que la médiation du projet entre le sujet et son objet d'étude en est la condition même :

> «En fait, la vérité scientifique est une prédiction, mieux, une prédication. Nous appelons les esprits à la convergence en annonçant la nouvelle scientifique, en transmettant du même coup une pensée et une expérience, liant la pensée à l'expérience dans une vérification : le monde scientifique est donc notre vérification. Au-dessus du sujet, au-delà de l'objet, la science moderne se fonde sur le projet. Dans la pensée scientifique, la méditation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet » (Bachelard, 1934, p. 14)

Pour Bachelard, le projet scientifique est vu comme un moyen majeur de distanciation et, à la fois, d'appréhension d'un objet d'étude, et non comme une distorsion. Dans le cas du projet

[126] Reconnaitre un motif (pattern) est le premier. La production de preuve est le deuxième. L'instrumentation est le troisième et implique l'interprétation. Les deux derniers sont associés. L'objectivité structurale est le quatrième qui tient la représentation à distance.

architectural, nous avons vu que le concept de représentation pouvait encore se défendre dans la mesure où elle incarne le projet (Goldschmidt and Porter, 2004) malgré l'informatisation du processus de conception. La qualité grandissante des simulations informatiques améliore les capacités prédictives, l'exactitude des résultats ainsi obtenus pourrait diminuer l'utilité des conjectures projectuelles, du raisonnement logique et de l'intuition et interroge sur le statut et l'intérêt des représentations architecturales. Mais les imperfections et manquements de l'approche traditionnelle des représentations interrogent, tant cette pratique persiste. Le décalage constant entre l'imagerie mentale et les images externalisées, cette impossibilité à rendre compte exactement d'une idée, ce hiatus, induirait une forme de tolérance féconde face aux ratés de toute transcription, la volonté d'expression d'une idée étant toujours quelque peu trahie par les moyens de représentation disponibles, et favorables aux découvertes inattendues. Ainsi la représentation incarnerait à la fois un moyen, un tiers, un intercesseur qui permettrait au concepteur de travailler en l'absence d'objet, en choisissant des focalisations, se distanciant de certains aspects, en embrassant d'autres, dans ce que nous pourrions appeler des mouvements de pensée, pour ne pas dire « action de pensée ». En début de projet, par la représentation, le concepteur génère des idées et les explore. Il mène graphiquement des essais, formule et éprouve des hypothèses architecturales, tout en considérant également ce qu'il ne maîtrise pas, qu'il s'agisse d'erreurs ou de découvertes, particulièrement dans les représentations précoces tel le dessin d'esquisse. Pour ces raisons, sans contester l'approche de Daston et Galison, il nous semble encore pertinent de parler de représentation dans le domaine de l'architecture, même si elle est remise en cause par la modélisation informatique, la représentation est le moyen majeur pour chercher et trouver des idées architecturales.

2.1.6. Tentative et découverte inattendue dans l'esquisse exploratoire

Les activités de conception créative supposent l'approche exploratoire propre aux premières phases de conception créative. Cross attribue au croquis le pouvoir d'accompagner le processus itératif de conception Le concept de co-évolution entre structuration et résolution de problème de Maher (Maher et al., 1996, p. 1) [127] :

> « Les croquis permettent l'exploration simultanée du problème et de la solution, aidant ainsi le concepteur à converger vers une association problème-solution harmonieuse. Ils permettent l'exploration des contraintes et des exigences, en termes de limites et de possibilités des espaces du problème et de la solution. […] Et les croquis aident le concepteur à découvrir les conséquences inattendues, les surprises qui maintiennent la dynamique de l'exploration dans ce que Schön & Wiggins (Schön D. & Wiggins G., 1992) appelaient la « conversation réflexive avec la situation » qui caractérise la pensée du concepteur. » (Cross, 2002, pp. 44–45)

Nous pouvons conjecturer que le concepteur, contrairement à un ordinateur, ne passe pas en revue toutes les solutions possibles mais procède plus intuitivement. Une certaine conduite du processus exploratoire dans l'exécution de l'esquisse croise la notion de tentative telle qu'exposée par le théoricien en Esthétique Luigi Pareyson. Pareyson exprime bien le recours

[127] Cf. section 1.2.1

au choix intuitif dans le domaine créatif, par exemple pour un peintre. Cette élection déclenchant la tentative induit toujours une part d'arbitraire et d'intuition privilégiant l'élection d'une idée plutôt que la simulation exhaustive de toutes les idées possibles :

> « Tenter n'est ni ignorer le chemin, ni s'engager sur la route, mais c'est plutôt s'ouvrir la voie : ce n'est pas la vertigineuse ouverture d'infinies possibilités équivalentes, ni la conscience précise d'une seule possibilité à réaliser, mais c'est plutôt l'effort de dégager d'un écheveau de possibilités celle qui permet la réussite. Avant d'être une technique de sélection, le fait de tenter est une technique de choix : pour épuiser le processus de sélection il faudrait mettre à l'épreuve toutes les possibilités, mais il y a un choix préventif, qui en élit seulement quelques- unes en écartant les autres sans discussion. » (Pareyson, 2006, p. 89)

Pareysson oppose donc l'élection d'idée à la sélection, supposant que l'élection est première et intuitive. Pour cette raison intuitive, une possibilité est choisie parmi d'autres, évoquant le concept de réduction d'incertitude (Lebahar, 1983) mais aussi celui de téléologie : tendu vers un but mal défini, le peintre de Pareyson, explore une possible solution qu'il juge être un succès potentiel :

> « Et si le critère de la sélection est la vérification, celui de l'élection est un discernement qui présage déjà la réussite pour juger l'épreuve, qui anticipe déjà l'accomplissement lorsque le processus est encore en cours, qui vise par avance la conclusion pour consolider ce qui a déjà été fait. Sans cette anticipation de la forme à venir il ne resterait, dans le domaine du possible, qu'une série infinie de possibilités, parmi lesquelles l'arbitraire seul pourrait être critère de choix, et, dans le champ de la réalisation, qu'une réserve désorganisée et précaire, exposée à une probable dissolution et incapable de supporter toute construction ultérieure. La tentative, donc, dispose d'un critère, indéfinissable mais extrêmement sûr : le pressentiment de la réussite, le présage du succès, l'anticipation de l'accomplissement, la divination de la forme. » (Pareyson, 2006, p. 89)

La tentative repose sur une hypothèse ou présomption de solution qui nous parait, contrairement à ce que dit Pareyson, être un arbitraire nécessaire pour éviter un traitement exhaustif d'une situation de création ou de conception. Le peintre élit une voie plutôt que d'autres, sentant qu'une solution doit y être explorée parce qu'elle est prometteuse et qu'elle pourrait « marcher ». Convenons que, en conception architecturale aussi, toutes les hypothèses ne peuvent pas être étudiées et que seules celles qui s'imposent spontanément au concepteur seront éprouvées. Une fois élue les pistes exploratoires, l'objet des démarches du concepteur est l'introduction de découvertes ; ces découvertes sont plus ou moins surprenantes et elles sont essentiellement soutenues par la production de dessins d'esquisse. Verstijnen et son équipe (Verstijnen et al., 1998) ont établi que, pour les participants à leur protocole expérimental, les tâches de structuration associées à la créativité requièrent d'avoir recours à l'esquisse d'idées, particulièrement performante pour faire des découvertes :

> « when coerced into restructuring, subjects spontaneously turned to sketching, when allowed to. Their image would then be restructured in analogy to their sketch. In the experiments the detection was frequently reported to be very surprising. The surprising character of the detection matches perfectly the usual definition of insight, e.g. '... previously unseen and unexpected

connections reveal themselves to the mind' (Langley and Jones73, p. 177). » (Verstijnen et al., 1998, pp. 545–546) [128]

La correspondance espérée liant l'imagination ou imagerie interne et images externalisées[129] sous forme de dessin d'esquisse repose sur un principe d'analogie dont on peut supposer qu'elle est parfois en retard et parfois en avance sur les attentes du concepteur. La notion de surprise sous-tend et justifie celle d'exploration. Durant celle-ci, les reformulations et les restructurations des problèmes de conception tels qu'ils apparaissent dans les dessins d'esquisse mènent à des découvertes inattendues qui motivent le concepteur et donnent du sens au projet :

« Schön [[130] NDLR] used the notion of 'surprise' in his theory of creative design, where it has the pivotal role of being the impetus that leads to framing and reframing. Surprise is what keeps a designer from routine behaviour. The 'surprising' parts of a problem or solution drive the originality streak in a design project. » (Dorst and Cross, 2001, p. 436) [131]

Verstijnen parle d'incubation pour décrire les idées en germe évoluant inconsciemment jusqu'à ce qu'elles se révèlent dans le croquis (Verstijnen et al., 1998, p. 546). Schön suggère que son concept de réflexion dans l'action est voué aux surprises. Ces surprises peuvent déclencher un sursaut d'activité cognitive à partir d'un élément trouvé, comme s'il s'imposait de lui-même :

«When intuitive, spontaneous performance yields nothing more than the results expected for it, then we tend not to think about it. But when intuitive performance leads to surprises, pleasing and promising or unwanted, we may respond by reflecting-in-action. Like the baseball pitcher, we may reflect on our "winning habits"; or like the jazz musician, on our sense of the music we have been making; or like the designer, on the misfit we have unintentionally created. In such processes, reflection tends to focus interactively on the outcomes of action, the action itself, and the intuitive knowing implicit in the action. » (Schön, 1983, p. 56) [132]

La surprise peut être le point de départ d'expérimentation de variation d'une idée donné sur le mode de l'improvisation, à l'image d'un jazzman. La découverte rencontre une aptitude quasi automatique à idéer de façon itérative autour d'un thème donné par la découverte. Goldschmidt

[128] « Lorsqu'ils étaient contraints de restructurer [un problème de conception, NDLR], les sujets se tournaient spontanément vers le croquis, lorsqu'on le leur permettait. Leur image serait alors restructurée par analogie avec leur esquisse. Dans les expériences, la détection [de nouvelles idées, NDLR] a souvent été rapportée comme étant très surprenante. Le caractère surprenant de la détection correspond parfaitement à l'habituel définition de la perspicacité, e.g., " ... des connexions inédites et inattendues se révèlent à l'esprit" (Langley et Jones73, p. 177). »
[129] Cf. section 2.1.2
[130] (Schön, 1983)
[131] « Schön a utilisé la notion de " surprise " dans sa théorie du design créatif, où elle a le rôle central d'être l'impulsion qui conduit au cadrage et au recadrage [du problème de conception. NDLR]. La surprise est ce qui empêche un concepteur d'adopter un comportement routinier. Les parties " surprenantes " d'un problème ou d'une solution sont à l'origine de l'originalité d'un projet de design. » Trad.Gouezou
[132] « Lorsque la performance intuitive et spontanée ne donne rien de plus que les résultats escomptés, nous avons tendance à ne pas y penser. Mais lorsque les performances intuitives mènent à des surprises, agréables et prometteuses ou non désirées, nous pouvons réagir en réfléchissant dans l'action. Comme le lanceur de baseball, nous pouvons réfléchir sur nos "habitudes gagnantes" ; ou comme le musicien de jazz, sur notre sens de la musique que nous avons faite ; ou comme le concepteur, sur l'inadéquation que nous avons involontairement créée. Dans de tels processus, la réflexion tend à se concentrer interactivement sur les résultats de l'action, l'action elle-même et la connaissance intuitive implicite de l'action.» Trad.Gouezou

considère que la sémantisation de nouveaux traits permet au concepteur de s'approprier le dessin pour en tirer de nouvelles idées potentielles :

> «Ascribing meaning to the unintended consequences of a rapidly made (freehand) sketch is what enables the sketcher to use it as a source of new information. This is what is meant by the previously quoted assertion claiming that "one reads off the sketch more information than was invested in its making." If we accept these premises, an inevitable conclusion is that sketching is a tool that has the potential to enhance design reasoning » (Goldschmidt, 2003, p. 83)[133]

Goldschmidt cite l'assertion de Kosslyn concernant les découvertes inattendues, et y ajoute que le mode itératif « essai-erreur » qu'engage le concepteur expert dans ses dessins d'esquisse y trouve le moyen d'atteindre une complexité cognitive inaccessible autrement :

> «Kosslyn [[134]NDLR] maintains that a special case of attention-based imagery makes it possible to create images of novel entities that had never been perceived. We have shown, however, that in the hands of expert sketchers, sketching stretches and sustains the "trial and error" exercises that imagery allows one to engage in, and increases the complexity of cognitive operations that can be performed. It therefore is a design resource that can be tapped when a task calls for it, and an emerging body of research appears to support this assertion. » (Goldschmidt, 2003, pp. 84–85) [135]

L'esquisse exploratoire suppose la mobilisation du système attentionnel du concepteur. Cet état de vigilance suppose l'évaluation régulière du potentiel d'une découverte donnée afin de décider s'il est sensé ou non de poursuivre l'effort attentionnel : soit la découverte est exploitée, soit elle est abandonnée. Le concept du « dilemme du chercheur d'or » du chercheur en neurosciences Jean-Philippe Lachaux concerne l'économie de l'attention (Citton, 2014) en général mais correspond bien à la situation que nous décrivons. Il pose la question de savoir s'il faut exploiter ou explorer cognitivement une situation, s'il vaut mieux continuer à creuser un sujet en cours et qui pourrait s'avérer intéressant, ou bien partir à la recherche d'un autre qui pourrait l'être tout autant. L'image du dilemme du chercheur d'or proposée par Lachaux exprime bien cette tension polarisant l'attention humaine prise en exploration et exploitation des idées :

> « […] le cerveau de l'homme est sans cesse confronté au dilemme suivant : doit-il continuer ce qu'il est en train de faire ou bien passer à autre chose ? C'est ce que l'on peut appeler le « dilemme du chercheur d'or », qui, au bout de quelques heures passées sur un bord de rivière

[133] « C'est en donnant un sens aux conséquences involontaires d'une esquisse rapide (à main levée) que le dessinateur peut l'utiliser comme source d'informations nouvelles. C'est ce qu'on entend par l'affirmation déjà citée selon laquelle "*on lit dans l'esquisse plus d'informations qu'on n'en a investi dans sa réalisation*". Si nous acceptons ces prémisses, une conclusion inévitable est que le croquis est un outil qui a le potentiel d'améliorer le raisonnement de la conception. » Trad.Gouezou

[134] (Kosslyn, 1994)

[135] « Kosslyn soutient qu'un cas particulier d'imagerie basée sur l'attention permet de créer des images d'entités nouvelles qui n'avaient jamais été perçues. Nous avons toutefois montré qu'entre les mains de dessinateurs experts, esquisser étend et soutient le mode "essai-erreur" auquel l'imagerie donne accès, et augmente la complexité des opérations cognitives qui peuvent être performées. Il s'agit là d'une ressource de conception qui peut être exploitée lorsqu'une tâche l'exige, et un corpus de recherche émergent semble appuyer cette affirmation » Trad.Gouezou

> finit par se demander si l'emplacement d'à côté n'est pas un peu meilleur. […]. Ce dilemme entre exploitation et exploration concède toutes les espèces en quête de ressources limitées, car rester au même endroit, ou poursuivre la même activité, n'est pas toujours la meilleure option. Pour résoudre ce problème, notre cerveau utilise un système de neurones sentinelles qui évaluent constamment l'intérêt potentiel de ce qui se trouve à côté. Ce système est dit pré-attentif […] agit sur ce à quoi nous ne prêtons pas (encore) attention. » (Lachaux, 2015)

On peut supposer que ce système pré-attentif, qui se situe à l'aurée de la conscience, ne serait pas sans lien avec l'intuition dont parlait Pareyson (Pareyson, 2006, p. 89). Notons que l'exploration est associée à une dynamique tandis que son opposée, l'exploitation, est supposée statique. Examiner les conditions permettant les découvertes permettrait à comprendre les démarches exploratoires en conception architecturale. Goldschmidt affirme que les concepteurs experts savent détecter des informations potentiellement pertinentes mais cachées dans le dessin d'esquisse :

> « experienced architectural designers are in the habit of searching for "hidden" information in visual displays, which they know to be useful for their work. » (Goldschmidt, 2003, p. 85)[136]

Bryan Lawson résume ici les travaux liminaires des « découvertes inattendues », expression forgée par Schön et Wiggins (Schon and Wiggins, 1992) et concept approfondi par Suwa et Tversky (Suwa and Tversky, 1997a):

> «designers, just like artists, do get inspiration and ideas from their drawings that they did not imagine in advance. Schön and Wiggins (1992) have described this as 'unexpected discovery' and it does appear to be a significant influence in the design process. Suwa and Twersky have studied the way designers work with drawings in a more controlled setting. Their work clearly suggests that designers respond to the geometric properties of drawings as they develop them and from this may 'see' other ideas than those that were in their mind before they began the drawing (Suwa and Twersky 1997). » (Lawson, 2005a, p. 281) [137]

Les architectes font, chemin faisant, dans leurs esquisses, des découvertes inattendues d'ordre géométrique qui peuvent ouvrir vers de possibles développement de la conception. Une autre étude de Suwa, Purcell et Gero (Suwa et al., 2001), interroge les conditions de l'émergence des découvertes inattendues dans les esquisse de conception. Elle a établi les liens entre le dessin d'esquisse et les découvertes inattendues (*unexpected discoveries*, ou *UXDs*) et établit que le développement suivant une découverte inattendue est une prise de décision significative assimilable à une invention :

---

[136] « les concepteurs d'architecture expérimentés ont l'habitude de rechercher des informations "cachées" dans les visuels, celles qu'ils savent être utiles pour leur travail » Trad.Gouezou

[137] « les concepteurs, tout comme les artistes, puisent dans leurs dessins une inspiration et des idées qu'ils n'avaient pas imaginées à l'avance. Schön et Wiggins (1992) ont qualifié cette découverte de " découverte inattendue " et elle semble avoir une influence significative sur le processus de conception. Suwa et Twersky ont étudié la façon dont les designers travaillent avec les dessins dans un environnement plus contrôlé. Leurs travaux suggèrent clairement que les concepteurs réagissent aux propriétés géométriques des dessins au fur et à mesure qu'ils les développent et qu'à partir de là, ils peuvent " voir " d'autres idées que celles qu'ils avaient en tête avant de commencer le dessin (Suwa et Twersky 1997). »

> « We conducted a protocol study of a practising architect and found that the occurrences of unexpected discoveries of this sort have strong correlation with those of inventions of design requirements. The occurrence of an unexpected discovery became the condition for the invention of a design requirement to be likely to happen. The invention of a requirement, in turn, was likely to encourage the subsequent occurrence of an unexpected discovery. What we mean by "invention" is the generation of an important design requirement for the first time in the current design task » (Suwa et al., 2001, p. 2) [138]

Leur protocole d'étude mené auprès d'un seul praticien durant quarante-cinq minutes révèle que les découvertes inattendues sont corrélées avec l'invention d'exigence ou requis (*requirement*) en matière de conception. Inversement, l'invention de requis de conception suscite la survenance d'une découverte inattendue. Ils définissent l'invention comme la génération d'une exigence de conception importante pour la première fois dans la tâche de conception actuelle :

> « Unexpected discoveries are a form of perceptual interaction with one's own sketches. In other words, that is to detect hidden features of a visual/spatial representation. In order to do this, a designer should be able to defocus from the perspective in which he or she used to look at the representation and replace it with a new perspective. Perkins et. al (1993) counted this as one of the necessary mental tendencies for creative thinking » (Suwa et al., 2001, p. 3) [139]

Un discernement spontané doit paradoxalement relever d'une forme de concentration mais aussi une forme de détachement permettant un changement de point de vue, paradoxe de l'aménité attentive que recouvrirait le terme de discernement. Ce discernement quasi spontané étonnait Schön ; la capacité humaine à détecter des éléments inattendus émergeant de leurs propres actions et décisions qui vont au-delà de leurs connaissances lui parait remarquable :

> « the remarkable ability of humans to recognize more in the consequences of their moves than they have expected or described ahead of time » (Schön, 1992, p. 7) [140]

Cette aptitude à ne pas être pris au dépourvu face à une situation inédite de conception, et de disposer de ressources suffisantes pour savoir intuitivement quelle conduite adopter évoque clairement le paradoxe de Menon de Platon vu par Simon (Simon, 1991, p. 197) [141]. Revenons à l'étude de Suwa, Purcell et Gero (Suwa et al., 2001) qui classe les découvertes inattendues (UXDs) en trois types : le type "relation " (*relation-type*) consistant à découvrir une relation

---

[138] « Nous avons mené un protocole d'étude auprès d'un architecte praticien et avons constaté que les découvertes inattendues […] ont une forte corrélation avec les inventions de requis en matière de conception. L'occurrence d'une découverte inattendue est devenue la condition préalable à l'invention d'une décision de conception. La prise de décision, à son tour, était susceptible d'encourager la survenance ultérieure d'une découverte inattendue. Ce que nous entendons par "invention", c'est la génération d'une décision de conception importante pour la première fois dans la tâche de conception en cours. » Trad.Gouezou

[139] « Les découvertes inattendues sont une forme d'interaction perceptuelle avec ses propres croquis. En d'autres termes, il s'agit de détecter les caractéristiques cachées d'une représentation visuelle/spatiale. Pour ce faire, le concepteur doit être en mesure de se défocaliser du point de vue dans lequel il avait l'habitude de regarder la représentation et de la remplacer par une nouvelle perspective. Perkins et al. (1993) ont considéré cela comme l'une des tendances mentales nécessaires à la pensée créative. » Trad.Gouezou

[140] « la capacité remarquable des humains à reconnaître plus de conséquences de leurs mouvements qu'ils ne s'y attendaient ou qu'ils ne l'avaient prévu ou décrit à l'avance » Trad.Gouezou

[141] Cf. section 1.1

spatiale ou organisationnelle ; le type « éléments visuels » (*visual-feature-type*) comme la forme, la taille ou la texture ; le type espace-implicite (*implicit-space*) provenant du recoupement entre les représentations. Ils codent ensuite quatre modes d'actions : physique (dessiner ou regarder un dessin, nouveau ou pas), perceptuel (caractéristiques visuelles, relationnelles, organisationnelles, ou implicites des éléments dessinés), fonctionnel (conceptualisation et/ou abstraction de caractéristiques visuo-spatiale associées à des fonctions), conceptuel (association de caractéristiques visuo-spatiales à des objectifs de conception impliquant connaissances et expériences). Les UXDs seraient une sous-catégorie du mode d'action perceptuel reposant sur le segment de dessin précédent contenant des caractéristiques visuo-spatiales revisitées par observation ou par le dessin, par exemple le concepteur perçoit dans un trait fortuit d'un croquis une propriété visuelle et spatiale inédite, comme un alignement. Dans une recherche précédente, les mêmes chercheurs Suwa, Gero et Purcell (1999) avaient attribué quatre types d'objectifs au processus de conception pour en coder les inventions de requis de conception (*design requirements*): le type 1 correspondant à une nouvelle fonction (décomposé en sous-type ; type 1.1 objectifs initiaux, type 1.2 connaissances et expériences, type 1.3 objectif précédent, type 1.4 nouveau) ; le type 2 pour la résolution de problème et/ou conflit ; le type 3 pour l'application de fonctions précédentes ; et le type 4 pour la répétition d'objectifs précédents. La somme des objectifs de type 1.3, 1.4 et 2 correspondrait aux objectifs pour d'inventions de requis de conception. Comparant le comptage et la caractérisation des objectifs de conception et des découvertes inattendues (UXDs), Suwa et al établissent que 28% des actions perceptuelles sont de UXDs dont les deux tiers sont de type relationnels, 21% sont visuelles et 16% seraient des espaces implicites. Les UXDs sont essentiellement des actions perceptuelles de type relationnelle. Ils concluent cette première étude en décrivant la relation de réciprocité dite « bi-directionnelle » entre les découvertes inattendues et les requis de conception :

> « we found that in about a half of his entire design process there was bi-directional causality between unexpected discoveries and the invention of issues or requirements; not only did unexpected discoveries become the driving force for invention, but also the occurrence of invention, in turn, tended to cause new unexpected discoveries » (Suwa et al., 1998, p. 1) [142]

Dans la dernière recherche (Suwa et al., 2001), les chercheurs codent les combinaisons d'éléments revisités en additionnant les actions de regarder, de retracer en superposition ou de recopier les précédents éléments. Lorsqu'un segment de conception est une revisite relevant d'une des trois catégories suivantes, les résultats obtenus sur l'ensemble des 340 segments sont : 136 soit 40% relèvent d'une nouvelle combinaison (classe A), 182 segments soit 54% relèvent d'une combinaison existante (classe B), 22 segments soit 6% apparaissent sans combinaison (classe C). L'architecte a réexaminé les éléments déjà vus selon une combinaison précédente

[142] « nous avons constaté que dans environ la moitié du processus de conception, il y avait une causalité bidirectionnelle entre les découvertes inattendues et l'invention de problèmes ou de requis; non seulement les découvertes inattendues sont devenues le moteur de l'invention, mais l'invention, à son tour, a eu tendance à causer de nouvelles découvertes imprévues » Trad.Gouezou

(classe B) dans 182 segments, c'est-à-dire 54 %. Dans 22 segments, il n'a pas revu les éléments précédemment représentés (classe C). On observe donc une tendance à une quasi-équivalence entre les combinaisons et les inventions. Pour les occurrences d'UXDs de type relationnel (combinaison d'éléments revisités), leur protocole confirme (tableau 4) qu'elles sont nettement plus « inventives », et sont associées à l'hypothèse de « force motrice sensorielle » ; tandis qu'il montre que les occurrences d'UXDs de type relationnel ne sont pas particulièrement liées à l'existence de nouveau concept, infirmant l'hypothèse de la force motrice conceptuelle (*conceptual driving force*). Pour les occurrences d'UXDs de type visuel (tableau 6), ils sont dénombrés selon deux classes de segment de conception : une invention ou nouvelle combinaison d'éléments est observable (classe 3) ou bien tous les autres segments restants (classe 4). Les occurrences de classe 3 étant supérieures, les hypothèses « sensorielles » et « conceptuelles » semblent vraies : les UXDs du type à caractéristiques visuelles ne sont susceptibles de se produire que lorsqu'il existe des forces motrices à la fois sensorielles et conceptuelles. Pour les occurrences d'UXDs de type implicite (tableau 6), les résultats n'aboutissent pas à une détermination des hypothèses "sensorielles" et "conceptuelles". Ainsi, les deux facteurs de l'invention de requis de conception et l'attention portée aux nouvelles combinaisons d'éléments préexistants expliquent 84% des occurrences des UXD de type relationnel et de type visuel. En somme, les esquisses permettent une vue d'ensemble de l'information. Dans 40 % de l'ensemble du processus de conception (tableau 3) l'architecte s'est occupé à la fois d'éléments représentés à différents moments et qu'il n'avait donc jamais traités ensemble : il était plus susceptible de faire des UXD de type relationnel. Lorsqu'il se focalisait sur des éléments déjà représentés dans la même combinaison que précédemment, son attention était « habituée » et il était moins susceptible de détecter de UXDs. L'attention portée aux nouvelles combinaisons d'éléments déjà représentés ne suffit pas à déclencher des d'UXD visuelles à moins que des forces motrices « conceptuelles » (plus liée aux connaissances et à l'expérience) et "sensorielles" soient observées. Finalement, l'interaction entre l'architecte et ses propres croquis dépend des découvertes inattendues (UXDs) d'éléments visuels et spatiaux cachés et qui conditionne la quantité de requis de conception. L'attention du concepteur devrait se porter sur différents éléments esquissés préalablement considérés ensemble dans une configuration inédite qui favorise la découverte de nouvelles relations cachées. De surcroit, lorsqu'il a généré un requis inventif, le concepteur doit aussi essayer de réorganiser sa perception des éléments esquissés précédemment en fonction des nouveaux requis. L'hypothèse de la « force motrice sensorielle » favorise les UXDs « relationnelles » et suppose la focalisation inédite du concepteur sur un ensemble d'éléments esquissés séparément : les considérer ensemble dans une nouvelle configuration serait propice aux UXDs de type visuel. Les auteurs résument en posant que 84% les occurrences d'UXDs sont relationnelles ou visuelles. Les UXDs relationnelles surviennent via une force motrice sensorielle centrée sur des documents inédits. Les occurrences d'UXDs visuelles surviennent via une force motrice sensorielle et conceptuelle.

2.2. Réflexivités du Dessin d'esquisse

2.2.1. Feedback, réflexivité, interactivités entre l'architecte et son dessin d'esquisse

Huot expose la décomposition du processus de conception par Lebahar en trois phases (Huot, 2005, pp. 18–19) (diagnostique architectural, recherche par simulation graphique, modélisation du projet) , et il juge que la présence du dessin est constante. S'il n'est pas le seul medium possible, il en est le medium majeur, comme vecteur de « résolution de problème », et comme « support créatif » des premières phases de la conception. Il cite Lebahar à propos du rôle du dessin d'esquisse dans le processus de conception

> « les croquis d'esquisse caractérisent la phase de préconception [[143]NDLR]» (Huot, 2005)

Selon l'étude de Cook et Agah évoquée précédemment et qui répertorie toutes les recherches menées dans le domaine de la modélisation informatique sur base de dessin d'esquisse (*sketch-based modeling*), le dessin d'esquisse ou croquis présente trois propriétés fondamentales pour la conception. Les deux premières propriétés sont le retour d'information ou rétroaction (*feedback*), et la reprise de dessin :

> «It is important to emphasize the close connection between sketching and the mental process that underlies it because it is this connection that represents sketching's primary utility. We can think of traditional paper and pencil sketching as composed of three elements. The first is the mental component we call feedback (Do and Gross, 1996). As a sketch is drawn, the artist continually sees the results of each stroke of the pencil, and reinterprets the visual image on the page, comparing it with his or her mental concept. While the artist can make corrections to the sketch to bring it closer to his or her mental image, he or she can also use those differences to update the mental image, trying new concepts or fleshing out areas that were not yet concrete.» (Cook and Agah, 2009b, p. 202)[144]

Le retour d'information provenant du dessin d'esquisse suscite des modifications de l'imagerie mentale ou image interne puis des images externalisées[145], rappelant le principe de correspondance entre l'imagination et le dessin (Eastman, 2001, p. 151) et du rôle des images externalisées dans les découvertes (Verstijnen et al., 1998). Cook et Agah exposent une troisième caractéristique de l'esquisse, la modification incrémentale :

> «The third and final component of sketching we call incremental refinement, and describes how feedback and overdrawing work together over time to develop an idea (Michalik et al., 2002; Do

[143] (Lebahar, 1983)

[144] « Il est important de souligner le lien étroit entre le dessin et le processus mental qui le sous-tend, car c'est ce lien qui représente l'utilité première du dessin. On peut penser que l'esquisse traditionnelle sur papier et au crayon est composée de trois éléments. Le premier est la composante mentale que nous appelons retour d'information [*feedback*] (Do et Gross, 1996). Au fur et à mesure qu'une esquisse est dessinée, l'artiste voit continuellement les résultats de chaque coup de crayon et réinterprète l'image visuelle sur la page, la comparant à son concept mental. Si l'artiste peut apporter des corrections à l'esquisse pour la rapprocher de son image mentale, il peut aussi utiliser ces différences pour mettre à jour l'image mentale, en étoffant de nouveaux concepts ou en explorant des domaines qui ne sont pas encore concrets. » Trad.Gouezou

[145] Cf. section 2.1.2

> and Gross, 1996). Incremental refinement can be summed up the maxim: "work from the macroscopic to the microscopic". As the sketch progresses the artist begins with simple shapes and broad ideas which are then refined through experimentation and exploration into more concrete and detailed descriptions. » (Cook and Agah, 2009b, p. 202)[146]

Ce troisième et dernier caractère du dessin d'esquisse concerne la progressivité des adaptations d'idées selon leur degré d'avancement et de maturation, réduisant l'espace d'exploration à mesure que le projet se singularise. En somme, selon ces trois critères de Cook et Agah, le *feedback* qu'offre le croquis, les raturages et les tentatives qu'il autorise et les réajustements, le dessin d'esquisse apparaît comme un *medium* adéquat aux démarches d'idéation incrémentales et itératives, conciliant exploration et exploitation des idées. Cette notion de *feedback* déjà relevée dans d'autres études comme celle de Goldschmidt sur le dialectisme du dessin d'esquisse (Goldschmidt, 1991a). Ce deuxième caractère du dessin d'esquisse qui le spécifie graphiquement est la superposition de traits repassés selon les focalisations du concepteur, comme une forme de raturage témoignant d'explorations cognitives :

> « The second element of sketching is the physical technique of the artist, which we call overdrawing. Overdrawing goes by many names in the literature including oversketching (Zeleznik et al., 1996), re-sketching, re-drawing, overtracing (Do and Gross, 1996), scribbling, and 'nervous' hand (Henzen et al., 2005). In this process the artist gradually adds new marks over previously drawn lines, building up and emphasizing some elements of a sketch while de-emphasizing others – see Fig. 1. It is overdrawing that gives sketches their characteristic sketchy appearance, and allows the artist to change the drawing just as feedback changes his or her mental image. » (Cook and Agah, 2009a, p. 202) [147]

Selon les auteurs, l'esthétique brouillonne de l'esquisse provient de cette technique du repassage et raturage traduisant la démarche de recherche. Suwa et Tversky départagent les travaux de recherche sur le dessin d'esquisse d'architecte en trois catégories de questionnement selon qu'ils cherchent à savoir pourquoi on dessine, ce que contient ce que l'on dessine ou les manières de dessiner. S'interrogeant sur ce que voient les architectes dans leurs dessins d'esquisse, elles considèrent que leur travail s'adresse au problème du « quoi » c'est-à-dire du contenu. En cela, elles l'inscrivent entre les travaux de Goldschmidt - dédiés selon elles au problème du pourquoi ou du sens - et ceux de Van Sommer, plus attachés à la question du comment ou des modalités d'usages. Peter Van Sommers a étudié les pratiques du dessin,

[146] « Le troisième et dernier composant de l'esquisse que nous appelons " affinement incrémental ", décrit comment la rétroaction et le surcroît de travail s'accumulent avec le temps pour développer une idée (Michalik et al., 2002 ; Do et Gross, 1996). L'affinement incrémental peut au mieux se résumer à : "travail du macroscopique au microscopique". Au fur et à mesure que l'esquisse progresse, l'artiste commence avec des formes simples et des idées générales qui sont ensuite raffinées à travers l'expérimentation et l'exploration dans des descriptions plus concrètes et détaillées. » Trad.Gouezou

[147] « Le deuxième élément de l'esquisse est la technique physique de l'artiste, que nous appelons le sur-dessin ou repassage. Le Le sur-dessin est connu sous plusieurs noms dans la littérature, y compris le sur-esquisse (Zeleznik et al., 1996), le re-sketching, le re-dessin, le surtraçage (Do et Gross, 1996), le gribouillage et la main 'nerveuse' (Henzen et al., 2005). Dans ce processus, l'artiste ajoute graduellement de nouvelles marques par rapport aux lignes tracées précédemment, construisant et soulignant certains éléments d'une esquisse tout en estompant d'autres - voir Fig. 1. C'est le sur-dessin qui donne aux esquisses leur aspect schématique caractéristique et permet à l'artiste de modifier le dessin de la même manière que le feedback modifie son image mentale. » Trad.Gouezou

examinant comment les concepteurs utilisent la vitesse, la pression et l'épaisseur de trait pour convoyer l'information sémantique (Van Sommers, 1984). Suwa et Tversky se demandent pourquoi les dessins d'esquisses sont un bon *medium* pour soutenir une conversation réflexive avec ses propres idées et images internes (*imagery*) :

> «This issue can, in turn, be divided into three separate problems; 'how do they see sketches?', 'what do they see in sketches?' and 'how and what do they draw?' Goldschmidt's work [[148]NDLR] pertains to the first category. She observed that there are two ways of inspecting sketches, i.e. 'seeing as' and 'seeing that', and that the former is an especially powerful means for what she calls interactive imagery. Van Sommers' s work [[149] NDLR] looked at graphic production from a developmental and cognitive perspective, and hence pertains to the third category. The present paper addresses the second problem, 'what architects see', by focusing more precisely than the past work on the contents of information categories that architects 'see' in their own sketches. The purpose of the present paper is to analyze how those different types of information intenningle with each other in their design thoughts and to reveal how practicing architects differ from students in it**.** » (Suwa and Tversky, 1997b, p. 386) [150]

Suwa et Tversky veulent déterminer ce que les architectes voient dans les dessins d'esquisse en se focalisant sur leur contenu, et disent vouloir construire une taxonomie des problèmes de conception (Suwa and Tversky, 1997b, p. 399). Elles ont établi trois grandes catégories d'information contenues dans les dessins déclinées en sous-catégories – ici entre parenthèses - propriété émergente (Espaces Choses, Formes/angles), relations spatiales (Tailles, Relations locales Relations globales Rôles pratiques, Caractéristiques/réactions abstraites) et connaissances de base (vues, lumières, circulation des personnes/voitures)[151]. Les conclusions tirées des résultats donnés par leur protocole sont multiples : ils présentent des morceaux de dépendance d'information supérieur (dependancy chunks) ce que les auteurs interprètent en disant que les architectes experts lisent plus d'informations différentes à partir de leurs croquis (Suwa and Tversky, 1997b, p. 395), ce que nous interprétons en disant qu'ils conçoivent avec une intensité et continuité relationnelle plus forte. Le changement de focalisation sur le dessin d'esquisse est souvent lié à des informations d'ordre spatial ; Suwa et Tversky considèrent que la recherche d'espaces motive le changement de focalisation sur une nouvelle partie de l'esquisse, tandis que l'examen des relations spatiales locales a stimulé la réflexion continue sur

[148] (Goldschmidt, 1991a)
[149] (Van Sommers, 1984)
[150] « Cette question peut, à son tour, être divisée en trois problèmes distincts : " comment voient-ils les esquisses ", " que voient-ils dans les esquisses " et " comment et que dessinent-ils ? Le travail de Goldschmidt concerne la première catégorie. Elle a fait remarquer qu'il y a deux façons d'inspecter les esquisses, à savoir " voir comme " et " voir que", et que la première est un moyen particulièrement puissant de ce qu'elle appelle l'imagerie interactive. Les travaux de Van Sommers ont examiné la production graphique d'un point de vue développemental et cognitif, et relèvent donc de la troisième catégorie. Le présent document aborde le deuxième problème, " ce que les architectes voient ", en se concentrant plus précisément que les travaux antérieurs sur le contenu des catégories d'information que les architectes " voient " dans leurs propres croquis. L'objectif de cet article est d'analyser comment ces différents types d'informations se recoupent dans leurs réflexions de conception et de révéler en quoi les architectes en exercice diffèrent des étudiants. » Trad.Gouezou
[151] Emergent propertie (Spaces Things, Shapes/angles), Spatial relations (Sizes, Local relation Global relation Practical roles, Abstract features/reactions) Background Knowledge (views, Lights, Circulation of people/cars)

des sujets connexes. Partant de cette séparation du dessin d'esquisse en trois sous-problèmes, le premier d'entre eux - comment voient-ils dans le dessin ? -, c'est-à-dire l'approche de Goldschmidt, nous interpelle le plus dans la mesure où il concerne la question de l'alternance de points de vue, entre *voir comme* et *voir que* nous paraît fondamental dans l'exercice de l'examen critique typique de la conception architecturale. Sans négliger les autres aspects du dessin d'esquisse établis par Suwa et Tversky, la réciprocité dialectique telle que la révèle Goldschmidt nous évoque un dialogue réflexif entre l'architecte et son croquis, le dessin d'esquisse offrirait ces modalités de questionnement et de problématisation. Ce dialogue réflexif correspond plus certainement à un mode itératif et incrémental de la conception architecturale, ou mode « essai-erreur », où une hypothèse architecturale reconfigure la problématique selon le principe de co-évolution (Maher et al., 1996)[152]. Dans une étude plus tardive consacrée au « *backtalk* » du dessin d'esquisse, que nous pourrions traduire par réponse ou réplique du dessin d'esquisse, Goldschmidt répertorie les études marquantes sur le dessin d'esquisse d'architecte :

> « Goldschmidt [153 NDLR] has proposed that, in the context of design, sketching serves as an extension of imagery; she refers to it as "interactive imagery." Other researchers of design advance similar claims. [154 NDLR] This characterization implies a circular feedback loop between two kinds of pictorial representation: internal representation in imagery, and external representation on paper or some other sketching surface. In this view, mental images inform the making of a sketch, but the sketch-in-the-making includes "autonomous" properties that result from emerging relationships among its elements (i.e., lines, dots, etc.), some of which may be unintended. These properties are interpreted in ways that are meaningful to the sketcher within the framework of the task, or within the problem-space in which he or she is working. In turn, these interpretations inform the generation of new mental images. Ascribing meaning to the unintended consequences of a rapidly made (freehand) sketch is what enables the sketcher to use it as a source of new information. This is what is meant by the previously quoted assertion claiming that "one reads off the sketch more information than was invested in its making » (Goldschmidt, 2003, p. 82.83) [155]

Le dessin d'esquisse sert d'extension de l'imagerie ou images mentales ; elle s'y réfère en tant qu'« imagerie interactive » entre les boucles de *feedback* entre la représentation interne en imagerie, et la représentation externe en dessin d'esquisse. Les images externes font apparaitre

[152] Cf. section 1.2.1 et note 38
[153] (Goldschmidt, 1991a)
[154] (Purcell and Gero, 1998) (Suwa and Tversky, 1997b)
[155] « Goldschmidt a proposé que, dans le contexte de la conception, le dessin d'esquisse sert d'extension de l'imagerie ; elle s'y réfère en tant qu'« imagerie interactive ». D'autres chercheurs avancent des considérations semblables. Cette caractérisation implique des boucles de retour circulaires entre deux genres de représentation picturales : la représentation interne en imagerie, et la représentation externe sur papier ou sur autre surface d'esquisse. Dans ce sens, les images mentales informent la fabrication d'une esquisse, mais l'esquisse en train de se faire inclut des propriétés « autonomes » qui résultent de relations émergentes parmi les éléments (i.e., lignes, points, etc.), telle qu'elles peuvent être inintentionnelles. Ces propriétés sont interprétées de façons significatives pour le dessinateur dans le cadre de la tâche, ou dans l'espace du problème dans lequel il ou elle travaille. En retour, ces interprétations informent la génération de nouvelles images mentales. Attribuer du sens aux conséquences involontaires d'une esquisse (à la main) rapidement exécutée est ce qui permet au dessinateur de l'utiliser comme source de nouvelle information. C'est ce qui est entendu dans l'assertion précédemment citée voulant que « on lit de l'esquisse plus d'informations que ce qui a été investi dans sa fabrication. » Trad.Gouezou

parmi les traits des découvertes - éléments, relations ou propriétés émergentes inattendues – qui sont réinterprétées rapidement. Cette sémantisation « à la volée » des découvertes permet leur intégration dans le processus de conception du projet. Goldschmidt soutient que c'est le discours sous-jacent (*backtalk*) du dessin d'esquisse qui permet au concepteur et dessinateur expérimenté d'interpréter des éléments, de reformulation et de restructurer les problèmes de conception mal définis :

> «Verstijnen et al supplied empirical evidence that sketching is compatible with restructuring, where the problem requires visual manipulation and where the problem-solver is an experienced sketcher. It is our contention that it is the sketch's backtalk, and the ability of the sketcher to read meaning into it and discover new plausible interpretations of it, that makes this possible. » (Goldschmidt, 2003, p. 84) [156]

Ainsi, nous voyons dans le problème de la confrontation entre des points de vue antagonistes, par exemple entre une image mentale et sa traduction en dessin ou entre une situation existante et une situation désirée sont considérés comme moteurs de la conception. En cela, ces interactions, *backtalk*, réciprocités et boucles se répondant l'une l'autre l'inscrivent entre les travaux de Goldschmidt - dédié selon Suwa et Tversky au problème du sens de l'information contenue dans le dessin d'esquisse. Il ne nous parait impossible que les démarches exploratoires observables dans les premières phases de conception créative nécessitent cette approche antagoniste où les conflits naissant dans la confrontation des points de vue permet la sémantisation des dessins d'esquisse. Sur la question du sens, nous invoquons l'assertion de Barthes voulant que le sens et le conflit dans le langage soient profondément corrélés :

> « Le paradigme c'est l'opposition de deux termes virtuels dont j'actualise l'un, pour parler, pour produire du sens. Le paradigme est binaire. Selon la perspective saussurienne, à laquelle, sur ce point, je reste fidèle, le paradigme, c'est le ressort du sens : là où il y a sens, il y a paradigme, et là où il y paradigme (opposition), il y a sens. Dit elliptiquement : le sens repose sur le conflit (le choix d'un terme contre l'autre) et tout conflit est générateur de sens : choisir un et repousser autre, c'est toujours sacrifier au sens, produire du sens, le donner à consommer. » (Barthes, 1977, p. 31)

Au-delà du langage, cette sémantisation par conflit ou opposition paradigmatique peut être transposée aux artefacts graphiques, notamment aux dessins d'esquisse. Cette question d'une dialectique propre à la conception architecturale que contiendraient les dessins d'esquisse fait l'objet d'études.

2.2.2. Dialectiques du dessin d'esquisse

L'expression et concept de dialectiques de l'esquisse (*dialectics of sketching*) ont été forgés par Gabriela Goldschmidt à l'occasion d'une publication en 1991. Il correspond à l'idée générale que l'architecte trouve dans le dessin d'esquisse une forme de dialogue réflexif sans doute lié à

[156] « Verstijnen et al ont fourni des preuves empiriques que le croquis est compatible avec la restructuration, lorsque le problème requière une manipulation visuelle et lorsque le concepteur du problème est un dessinateur expérimenté. Nous soutenons que c'est le discours sousjascent (backtalk) de l'esquisse et la capacité du dessinateur à y lire le sens et à en découvrir de nouvelles interprétations plausibles qui rendent cela possible. » Trad.Gouezou

l'idée de Schön que la conception est une forme de discussion avec une situation. Cette intuition de Goldschmidt présente des filiations en s'inscrivant dans la tradition linguistique de critique du langage sur la base des travaux de Ludwig Wittgenstein, et celle de la psychologie de la forme ou *Gestalt Theories* au travers des recherches de Rudolph Arnheim. Goldschmidt dit s'être inspirée de Ludwig Wittgenstein au sujet du rapport et des hiatus entre *pensée* et *langage*. Il est admis que le philosophe et logicien Wittgenstein s'est consacré à la clarification du rapport et des usages du langage afin de disposer de moyens intellectuels corrects pour philosopher. Cette démarche l'a, dans un premier temps, conduit à tenter d'énoncer une théorie générale du langage dans son *Tractatus Philosoficus* (1921-1922). C'est ce que certains observateurs désignent comme le premier Wittgenstein. Puis, avec le temps, ses travaux l'ont mené à évoluer jusqu'à répudier cette première approche au profit d'une approche moins généraliste, bâtie sur l'intuition que la particularité infinie des cas interdise d'avoir une approche trop dogmatique ou unifiante du langage. C'est ce que certains observateurs désignent comme le deuxième Wittgenstein, plus « circonstanciel », plus ouvert aux cas particuliers et moins « docte » dans ses *Investigations Philosophiques* dont la rédaction s'est étalée de 1936 à 1950. C'est à ce deuxième Wittgenstein que se réfère Goldschmidt:

> « I learn the concept 'seeing' along with the description of what I see. I learn to observe and to describe what I observe. I learn the concept 'to have an image' in a different context. The descriptions of what is seen and what is imaged are indeed of the same kind, and a description might be of the one just as much as of the other; but otherwise the concepts are thoroughly different. The concept of imaging is rather like one of doing than of receiving.... (Note 637, p. Ill » Wittgenstein[157] in (Goldschmidt, 1991a, p. 128) [158]

Selon Wittgenstein, le concept de penser une image est une fabrication, une image ne serait jamais reçue telle quelle, le langage et la pensée induisant d'inévitables transformations. Auteur difficile à aborder, nous pouvons au moins dire que ce « deuxième » Wittgenstein, contrairement au « premier », discrétise plus qu'il ne généralise[159]:

> «'Seeing as . . . .' is not part of perception. And for that reason it is like seeing and again not like. » (Wittgenstein, 1958, p. 197) [160]

Comme nous allons le voir, Wittgenstein dissocie l'état perceptif de voir que, dont l'objectivité fonctionnelle serait évidente, de l'état de voir comme qui repose à la fois sur ces principes

[157] (Wittgenstein, 1958)
[158] «J'apprends le concept 'voir' avec la description de ce que je vois. J'apprends à observer et à décrire ce que j'observe. J'apprends le concept 'avoir une image' dans un contexte différent. Les descriptions de ce qui est vu et de ce qui est imagé sont en effet du même genre, et une description pourrait être de l'un autant que de l'autre ; mais autrement les concepts sont complètement différents. Le concept de l'imagerie est plutôt un concept de faire que de recevoir.» trad.Gouezou
[159] Le second, auteur des Recherches, se serait opposé au premier, auteur du Tractatus logico-philosophicus, logicien cherchant à modéliser le langage: « Il y a quatre ans, j'ai eu l'occasion de relire mon premier ouvrage (le Tractatus logico-philosophicus) et d'en expliquer les pensées. Il m'est alors apparu soudain que je devais publier ces anciennes pensées en même temps que les nouvelles, car ces dernières ne pourraient être placées sous leur vrai jour que sur le fond de mon ancienne manière de penser et par contraste avec elle ». in (Wittgenstein, 2005, p. 22)
[160] « « Voir comme » ne fait partie de la perception. Et pour cette raison est semblable à voir et encore dissemblable » Trad.Gouezou

perceptifs, mais aussi sur des principes interprétatifs où les ressorts du langage et de la subjectivité surviendraient. Wittgenstein distinguerait voir comme impliquant l'interprétation, et voir que comme impliquant l'analyse ou constat :

> « Do I really see something different each time, or do I only interpret what I see in a different way? I am inclined to say the former. But why?—To interpret is to think, to do something; seeing is a state. Now it is easy to recognize cases in which we are interpreting. When we interpret we form hypotheses, which may prove false » (Wittgenstein, 1958, p. 212) [161]

Selon ce point de vue, il n'y a pas de neutralité possible dans l'acte d'interpréter, qui est à la fois un acte de pensée et une distorsion inévitable. Nous proposons de voir que cette dynamique relativement instable de l'interprétation offre malgré tout une constante qui est que le discernement de la chose que nous voyons se fait par opposition aux autres qui ne sont pas elle : le dialectisme serait ici vu comme principe de définition d'un terme par opposition à d'autres termes. Nous retrouvons ici l'influence du Cercle de Vienne sur le principe du roman de Robert Musil intitulé *L'Homme sans qualité*. N'ayant aucune qualité en propre ou bien toutes à la fois, Ulrich présente une neutralité subversive du point de vue des principes identitaires de l'empire Austro-Hongrois imposant que les choses soient définies. Ulrich peut être tel ou tout aussi bien tel autre, principe de déjoueur qui traverse aussi le roman *Bartleby* d'Herman Melville avec sa formule « *je préfèrerais ne pas* » servant à éviter les assignations identitaires ou à décliner les injonctions productivistes. De ce point de vue là, identifier et agir entravent la pensée. Outre Wittgenstein, Goldschmidt s'appuie aussi sur les travaux d'Arnheim qui fut formé au début du XXème siècle à Berlin à la théorie Gestalt, ou théorie de la forme, que nous nous risquons à qualifier de méthode d'analyse basée sur des schémas perceptifs supposés aptes à révéler la structure (cachée) des choses. Arnheim, psychologue centré sur la question de la perception, fonda aux Etats Unis une démarche abordant l'art scientifiquement, dont le *Design Thinking* est l'un des aboutissements. Il explique que la théorie *Gestalt* révèle ce que nous pourrions prendre pour un ordre caché des choses qui, sans être simplificateur, est simple, structurant et intuitivement perceptible. Rudolph Arnheim rappele les origines de ce mouvement:

> « Gestalt theory, created mainly by three men, Max Wertheimer, Wolfgang Kohler, and Kurt Koffka, uses as its method in psychology, physics, biology, sociology, etc., the description of the structural features, the whole-qualities of "systems", i.e., of those natural things or happenings in which the character and function of any part is determined by the total situation. The method […] refuses to reserve the capacity of synthesis to the higher faculties of the human mind, but emphasizes the formative powers and, if I may say so, the "intelligence" of the peripheral sensory processes, vision, hearing, touch, etc., which had been reduced by traditional theory to the task of carrying the bricks of experience to the architect in the inner sanctuary of mind. From this attitude results a strong sympathy with, and an intimate

[161] « Est-ce que je vois vraiment quelque chose de différent à chaque fois, ou est-ce que je n'interprète que ce que je vois d'une manière différente ? Je suis enclin à dire le premier. Mais pourquoi ? interpréter, c'est penser, c'est faire quelque chose ; voir est un état. Il est maintenant facile de reconnaître les cas dans lesquels nous interprétons. Lorsque nous interprétons, nous formons des hypothèses qui peuvent s'avérer fausses. » Trad.Gouezou

understanding of, the artist» (Arnheim, 1943, p. 71.72) [162]

Arnheim explique un principe de la théorie Gestalt et son application aux domaines artistiques :

« Gestalt theory does not hold that the senses carry amorphous material on which order is imposed by a receiving mind. It emphasizes instead that "good shape" is a quality of nature in general, inorganic as well as organic, and that the processes of organization active in perception somehow do justice to the organization outside in the physical world » (Arnheim, 1966, p. 73) [163]

La recherche de Goldschmidt s'inscrit aussi dans d'autres filiations, étant citée en référence ou faisant écho à d'autres recherches sur le thème du dessin d'esquisse comme dialogue. Bilda, Purcell et Gero ont recueilli des propos d'architectes expérimentés qui semblent décrire le croquis comme un dialogue. Ils traduisent la réciprocité « dialectique » existant entre le dessin d'esquisse et son auteur qui y trouve alors le moyen d'évaluer ses idées :

« Dessiner, c'est tester et évaluer les idées […] vous ne pouvez pas empêcher les messages de revenir de chaque ligne que vous avez tracée » (Bilda et al., 2006, p. 606)

Pour caractériser la boucle réflexive de l'architecte alternant le dessin, l'inspection, et la révision, Masaki Suwa et Barbara Tversky se réfèrent aux travaux de Goldschmidt établissant que le dessin d'esquisse s'apparente à un monologue ou à une forme de délibération :

« Architects put ideas down on paper and inspect them. As they inspect their own sketches, they see unanticipated relations and features that suggest ways to refine and revise ideas. This cycle sketch, inspect, revise - is like having a conversation with one's self [[164] NDLR]. Goldschmidt [[165]NDLR] conjectured that sketches give access to various mental images, figural or conceptual, that may potentially trigger ideas in the current design problem. Furtherrnore, she claimed that visual design thinking is a rational mode of reasoning as well, although it has been set aside behind the dominant paradigm of linguistic, logical reasoning in cognitive science » (Suwa and Tversky, 1997b, p. 386) [166]

[162] « La théorie de la gestalt, créée principalement par trois hommes, Max Wertheimer, Wolfgang Kdhler et Kurt Koffka, utilise comme méthode en psychologie, physique, biologie, sociologie, etc. la description des caractéristiques structurelles, les qualités globales des "systèmes", c'est-à-dire les choses naturelles ou les événements dont le caractère et la fonction sont déterminés par la situation totale. La méthode (...) refuse de réserver la capacité de synthèse aux facultés supérieures de l'esprit humain, mais met l'accent sur les pouvoirs formateurs et, si je puis dire, sur l'"intelligence" des processus sensoriels périphériques, la vision, l'audition, le toucher, etc. qui avaient été réduits par la théorie traditionnelle à porter les briques de l'expérience aux architectes dans la réserve intérieure de l'esprit. De cette attitude découle une forte sympathie et une compréhension intime de l'artiste. » trad.Gouezou

[163] « La théorie Gestalt ne considère pas que les sens portent un matériau amorphique sur quoi un ordre est imposé par un esprit recevant. Elle insiste plutôt sur le fait que la « bonne forme » est une qualité de la nature en général, inorganique comme organique, et que les processus d'organisation actifs dans la perception d'une manière ou d'une autre rendent justice à l'organisation au dehors, dans le monde physique » Trad.Gouezou

[164] (Schon and Wiggins, 1992)

[165] (Goldschmidt, 1991b)

[166] « Les architectes mettent des idées sur le papier et les inspectent. Lorsqu'ils inspectent leurs propres croquis, ils voient des relations et des caractéristiques imprévues qui suggèrent des moyens d'affiner et réviser des idées. Ce cycle - croquis, inspection, révision - est comme une conversation avec soi-même. Goldschmidt a supposé que les croquis donnent accès à diverses images mentales, figuratives ou conceptuelles, qui peuvent potentiellement déclencher des idées dans le problème de conception actuel. En outre, elle a affirmé que la pensée du design visuel est également un mode de raisonnement rationnel, bien qu'elle ait été mise de côté derrière le paradigme dominant du raisonnement linguistique et logique dans la science cognitive »

Des signes cachés dans le dessin d'esquisse demandent, selon Goldschmidt, à être détectés et interprétés, laissant supposer que le concepteur doit à son tour leur répondre :

> «the fuzzy, incomplete, and inaccurate rapid sketch works in a manner somewhat similar to a Rorschach test inkblot, into which one can read meanings that are obviously derived from sources other than the inkblot. The self-generated sketch talks back, and its backtalk reflects some of the sketcher's innermost, tacit, otherwise untapped knowledge, biases, concerns, and preferences. » (Goldschmidt, 2003, p. 87) [167]

Les aspects dialectiques recouvrent les interactions entre l'architecte et son dessin d'esquisse, mais aussi le monologue du concepteur. Plus langagier que visuel si l'on se réfère au concept d' « oreille intérieure », le monologue complèterait la vision qui ne serait pas dotée d'un équivalent de la " voix intérieure" (Purcell and Gero, 1998). Dans le modèle de Baddeley, la boucle phonologique (*phonological loop*) double le carnet de croquis visuospatial (*visuo spatial sketchbook*) (Baddeley, 1992) dont on a vu les implications dans les interactions entre les mémoires à court et à long terme [168]. Goel avait montré que la phase de problématisation (*problem structuring*) repose sur les informations externes (programme architectural, *inputs* d'usagers, règlementation, documentation du site, etc.) et la mémoire à long terme (connaissance et expérience du concepteur expert) (Goël, 1995, p. 125) [169]. Purcell et Gero relèvent dans une étude de Schön et Wiggins (1992) que la séquence voir-bouger-voir est typique du processus de conception, qu'elle permet les découvertes inattendues et l'appréhension des problèmes mal structurés, et que cette interactivité entre le concepteur et son projet est proche de la dialectique de l'esquisse décrite par Goldschmidt :

> «Schon and Wiggins [[170] NDLR] argue that design consists of sequences of seeing– moving–seeing with the unintended consequences of moves allowing the designer to bring more and more facets of their knowledge into conscious thought allowing them to handle the complexity associated with ill-defined problems. They argue that it is the interconnectedness between the various domains of knowledge relevant to a design that brings the unintended consequences of a move into consciousness and that it is the degree of interconnectedness which differentiates between expert and novices design knowledge. This conception is very similar to Goldschmidt's

[167] « l'esquisse rapide floue, incomplète et inexacte fonctionne d'une manière un peu similaire à un test de Rorschach, dans lequel on peut lire des significations qui sont évidemment dérivées de sources autres que cette tâche d'encre. L'esquisse générée par son auteur lui répond, et son arrière-plan reflète certaines des connaissances, des préjugés, des préoccupations et des préférences les plus intimes, tacites et par ailleurs inexploitées de l'auteur de l'esquisse. » Trad.Gouezou

[168] Cf. section 2.1.3

[169] «La structuration du problème est le processus qui consiste à extraire des informations de la mémoire à long terme et de la mémoire externe et à les utiliser pour construire l'espace du problème, c'est-à-dire pour spécifier les états de départ, les états des objectifs, les opérateurs et les fonctions d'évaluation. La structuration des problèmes, par rapport à la résolution de problèmes, repose fortement sur le client et le cahier des charges comme sources d'information, considère l'information à un niveau plus élevé d'abstraction, prend moins d'engagements dans les décisions et implique un pourcentage plus élevé d'opérateurs d'ajout et de proposition. Une stratégie particulièrement intéressante pour structurer les problèmes consiste à inverser la direction de la fonction de transformation. » Trda.Gouezou

[170] (Schon and Wiggins, 1992)

'seeing as' and 'seeing that' episodes linked together in a dialectic process » (Purcell and Gero, 1998, p. 393) [171]

L'expertise s'exprime dans la capacité à brasser et organiser des connaissances disparates au cours des boucles itératives, les séquences voir-bouger-voir permettent l'intégration de ces différents éléments. Goldschmidt se réfère à l'idée de la conception comme conversation avec une situation de conception de Schön et Wiggins mais aussi comme monologue (Goldschmidt, 1991a) :

« in the case of an individual designer, they facilitate the dialogue of the designer with him - or herself and with the design materials (Schön and Wiggins 1992). » (Goldschmidt, 2004, p. 204) [172]

Purcell et Gero ont relevé dans différents travaux fondés sur des protocoles expérimentaux la prégnance de processus de réinterprétation des esquisses pour la conception. Ils évoquent une interaction « cyclique » entre le concepteur et ses dessins d'esquisse qui permet d'améliorer la connaissance du projet et donc d'en réduire la part mal structurée du problème :

« re-interpretation result in further reinterpretations and access to new knowledge; that is, there is a cyclic, dialectic process involved. A particularly significant consequence of this process, recognized explicitly in Goldschmidt, Schon and Wiggins and Goel, is that this is a mechanism that allows two fundamental characteristics of design problems to be addressed. The bringing in of new knowledge, brought about by reinterpretation, is a process that progressively reduces the ill-defined nature of design problems. In addition, where this new knowledge is perceptual in character, it allows the designer to move towards a physical object. This overcomes the problem associated with the fact that abstract, conceptual knowledge relevant to a design does not in itself specify the physical attributes of a designed artifact. » (Purcell and Gero, 1998, p. 397)

Les découvertes entraînent d'autres réinterprétations aboutissant à de nouvelles connaissances, processus cyclique et dialectique qui aide à déterminer les problèmes mal structurés et à rendre tangible les éléments manipulés. A propos du concept de dialectique de l'esquisse de Goldschmidt, Cross explique qu'il est basé sur l'alternance de points de vue :

« Les croquis […] facilitent ce que Goldschmidt (Goldschmidt G., 1991) appelait la « dialectique du croquis ». Le dialogue entre le « voir que » et le « voir comme », où le premier représente la critique réfléchie et le dernier renvoie au raisonnement analogique et à la réinterprétation du croquis qui, à nouveau, stimule la créativité. » (Cross, 2002, p. 44)

[171] « Schon et Wiggins soutiennent que le design consiste en des séquences de voir-mouvoir-voir avec les conséquences involontaires des mouvements permettant au concepteur d'apporter de plus en plus de facettes de leurs connaissances dans la pensée consciente lui permettant de gérer la complexité associée aux problèmes mal définis. Ils soutiennent que c'est l'inter-connectivité entre les différents domaines de connaissances pertinents pour une conception qui entraîne les conséquences involontaires d'un mouvement dans la conscience et que c'est le degré d'inter-connectivité qui différencie les connaissances des experts et des novices en design. Cette conception est très similaire à celle de Goldschmidt, qui consiste à " voir comme " et à " voir que " des épisodes liés ensemble dans un processus dialectique. » Trad.Gouezou

[172] « dans le cas d'un concepteur individuel, elles facilitent le dialogue du designer avec lui-même et avec les éléments de la conception (Schön et Wiggins 1992). » Trad.Gouezou

Voir Comme (*seeing as*) est le point de vue qui correspondrait à l'approche analogique, spéculative ou imaginationnelle, auquel répondrait le point de vue voir Que (*seeing that*) qui correspondrait à l'approche analytique, critique et distanciée, et réciproquement. Le terme « dialectique » serait entendu ici comme renvoyant à la notion de délibération entre au moins deux points de vue contradictoires[173] et permettant ainsi de raisonner et de (se) convaincre du bienfondé d'une décision qui permettra de dépasser l'antinomie première. Goldschmidt, désireuse de comprendre comment les architectes alternent et confrontent différents points de vue à l'aide du dessin d'esquisse. Les changements de focalisation, notamment entre ce qui est intentionnel dans l'image mentale et ce qui est analysé dans l'esquisse, est propre à instaurer un échange réflexif que désigne le terme de dialectique. La réciprocité dialectique qu'offre le dessin d'esquisse consiste, selon l'analyse de Goldschmidt, en un « *pattern* » de séquences d'arguments de conception alternant entre deux modes de raisonnement, deux points de vue : voir Comme et voir Que, qui traduiraient le double état du concepteur polarisé entre ses conjectures et ses analyses:

> « For the most part, 'as' arguments are preceded and followed by 'that' arguments and vice versa. All 'as' arguments, with a single exception, were made while sketching. 'That' arguments were made both while sketching and while pausing to contemplate on-line sketches.
> […] Based on these results it is proposed that design reasoning at the time of sketching is characterized by short sequences of arguments which shift between seeing as and seeing that modalities. Shifts occur both within moves and across moves in a cyclic manner, which we call the dialectics of sketching. » (Goldschmidt, 1991a, p. 138) [174]

L'alternance rapide des arguments comme forme des boucles caractérise ce que Goldschmidt appelle la dialectique de l'esquisse. Cette distance entre l'intention et le dessin d'esquisse contribue à créer une boucle « perceptive » avec le dessin, lui conférant ainsi sa valeur dialectique. Nous associons une réflexion de Boudon & Pousin sur l'alternance entre « inscription » et « lecture » dans le dessin d'esquisse à la dialectique de Goldschmidt :

> « par la lecture de son dessin, le concepteur a le pouvoir de révéler des formes, des directions qui, bien qu'inscrites, étaient dépourvues de sens. […] Dans un second temps, le concepteur fixe ce que la lecture révèle. Il inscrit les figures mises à jour qui transforment la configuration du dessin. L'inscription succède ainsi à la lecture pour donner naissance à de nouvelles figures qu'il conviendra ensuite d'interpréter. […] On peut dès lors avancer que l'invention se jouerait pour une part dans cette alternance d'inscription intentionnelle et de lecture interprétative. » (Boudon et al., 1994, p. 94)

[173] « D'après Hegel, le processus dialectique par lequel l'Idée se réalise dans la nature et dans l'esprit serait fondé sur la contradiction. P. Foulquié, La Dialectique, Paris, P.U.F., 1959 [1949], p. 54 » in http://www.cnrtl.fr/definition/dialectique

[174] « « Pour la plupart, les arguments « *comme* » sont précédés et suivis d'arguments « *que* » et vice versa. Tous les arguments « *comme* », à une exception près, furent faits en esquissant. Les arguments « *que* » furent autant faits en esquissant qu'à l'arrêt pour contempler des dessins d'esquisse en cours.[…] basé sur ces résultats, il est proposé que le raisonnement de conception au moment de l'esquisse est caractérisé par de courtes séquences d'arguments alternant entre des modalités « *voir comme* » et « *voir que* ». Des alternances se produisent à la fois dans les mouvements et au travers des mouvements d'une manière cyclique, que nous appelons les « dialectiques de l'esquisse » Trad.Gouezou

Le concept de voir Comme correspondrait à l'inscription de Boudon & Pousin traduisant l'intention du concepteur, nous dirions idéer, et voir Que correspondrait à la lecture pour traduire son interprétation, nous dirions analyser. Selon nous, l'inscription pourrait être caractérisée par une tendance à l'ouverture proprement spéculative, un « et si… » d'ouverture aux possibles, inférence qui pourrait se refermer ensuite, dans la seconde approche par une analyse ou lecture sur le mode déductif « alors il résulte que … » :

> « Sketches are obviously pictorial, for they refer to shape and orientation, and often to approximate size even if they maintain a varying degree of abstractness. Yet it is impossible to confirm that there is a direct one-to-one correspondence between shapes and figures on paper and the images they stand for. It is therefore proposed to refer to the (pictorial) reasoning evident in interactive imagery at the time of sketching as consisting of two modalities. » (Goldschmidt, 1991a, p. 131) [175]

Les dessins d'esquisse font apparaitre une convention de correspondance directe entre les dessins d'esquisse, le projet et sa représentation. Elle explique ce que recouvrent ses concepts de voir comme – plutôt figuratif - et voir que - plus analytique ou langagière- :

> «The designer is 'seeing as' when he or she is using figural, or 'gestalt' argumentation while 'sketch-thinking'. When 'seeing that', the designer advances nonfigural arguments pertaining to the entity that is being designed. The process of sketching is a systematic dialectics between the 'seeing as' and 'seeing that' reasoning modalities. » (Goldschmidt, 1991a, p. 131) [176]

Dans le cas de voir comme qui est plus « intentionnel », la volonté du concepteur le confondrait avec le projet même qu'il est en train de concevoir, tandis que, dans le deuxième cas de voir que, le concepteur analyse et considère l'objet avec distance, comme émancipé de lui. Boudon et son équipe avaient évoqué le rôle de la perception des documents de représentation dans la « poïétique »[177] du projet qui relève autant d'intentions que de trouvailles :

> « Le projet d'architecture étant constamment représenté, dessiné le plus souvent, l'architecte joue de la lecture des dessins, des représentations au cours de son travail de conception. […] la lecture d'une figure peut révéler des propriétés non intentionnelles et ouvrir ainsi des perspectives au projet. Comme on le voit, parce que l'architecte travaille au moyen de représentations, cette perception particulière qu'est la lecture du dessin occupe également une place importante dans son travail de conception. La conception fait intervenir une alternance de lecture et de production. » (Boudon et al., 1994, p. 31)

---

[175] « Sketches are obviously pictorial, for they refer to shape and orientation, and often to approximate size even if they maintain a varying degree of abstractness. Yet it is impossible to confirm that there is a direct one-to-one correspondence between shapes and figures on paper and the images they stand for. It is therefore proposed to refer to the (pictorial) reasoning evident in interactive imagery at the time of sketching as consisting of two modalities. » Trad.Gouezou

[176] «The designer is 'seeing as' when he or she is using figural, or 'gestalt' argumentation while 'sketch-thinking'. When 'seeing that', the designer advances nonfigural arguments pertaining to the entity that is being designed. The process of sketching is a systematic dialectics between the 'seeing as' and 'seeing that' reasoning modalities. » Trad.Gouezou

[177] Venant du grec « *poïen* » signifiant « faire », « créer », notion que Paul Valery emploie pour désigner les modalités de création- par opposition à la « poétique » définie comme « un recueil de règles ou de préceptes esthétiques ».

Ces propriétés non intentionnelles évoquent les découvertes inattendues (*unexpected discoveries*, UXd) de Suwa, Purcell et Gero (Suwa et al., 2001) [178]. Purcell et Gero relient ce concept de dialectique du *sketching* à l'idée de « voir-bouger-voir » de Schön et Wiggins (1992) où l'interconnectivité entre les divers domaines de connaissances pertinents pour un projet décrivant le caractère itératif et incrémental de la conception (Purcell and Gero, 1998, p. 393). Lawson interprète l'étude de Goldschmidt comme un révélateur du caractère transactionnel d'une situation de conception où, au travers des dessins d'esquisse, le concepteur rapporte ce qu'il désirerait faire à ce qu'il croit pouvoir analyser de cette situation et de ses propres décisions avec des dispositions à l'autocritique :

> « Goldschmidt has […] described this process in conversational terms by calling it the 'dialectics of sketching' (Goldschmidt 1991). She points out how sketches enable a dialogue between 'seeing that' and 'seeing as'. For her 'seeing that' is a way of summarising the process of reflective criticism and 'seeing as' represents the process of making analogies and reinterpretations. In fact it is one of the most flexible and powerful tools for conducting the conversation of negotiation between what is desired and what can be realised » (Lawson, 2005a, p. 281) [179]

Voir Que correspond au processus de réflexion critique et voir comme représente le processus d'analogie et de réinterprétation. Pour Boudon, les activités d'interprétation et de spéculation basées sur les documents de représentation de l'architecture sont considérées comme constitutives du projet architectural qui apparaît alors aussi intentionnel qu'accidentel dans ses origines. De façon générale, nous considérerons le croquis comme un support de réflexivité dialectique qui évoque un interlocuteur « graphique ». Dans cette acception, le dessin d'esquisse serait l'équivalent visuel du monologue[180]. Goldschmidt s'est posé la question de savoir comment recueillir et observer les manifestations de cette dialectique du dessin d'esquisse via un système annotatif particulier.

2.2.3. Le système annotatif de Goldschmidt

Pour développer l'approche de Goldschmidt que nous avions présenté dans la précédente section, et avant de développer son système annotatif destiné à relever le « dialectisme » d'une esquisse. Goldschmidt s'appuie sur cette opposition - ou impossibilité - entre perception et interprétation énoncée par Wittgenstein[181] pour aborder la réflexivité dialectique du dessin d'esquisse. Cette réciprocité dialectique qu'offre le croquis consiste en un « *pattern* » de

[178] Cf.section 2.1.6

[179] « Goldschmidt a […] décrit ce processus en termes conversationnels en l'appelant la " dialectique du dessin " (Goldschmidt 1991). Elle souligne comment les esquisses permettent un dialogue entre " voir que" et " voir comme ". Pour elle, "voir que" est une manière de résumer le processus de critique réfléchie et "voir comme" représente le processus de faire des analogies et des réinterprétations. En fait, c'est l'un des outils les plus souples et les plus puissants pour mener la conversation de négociation entre ce qui est souhaité et ce qui peut être réalisé. » Trad.Gouezou

[180] «Parler sérieusement, c'est parler comme on parle à soi-même. Comme l'on parle au plus près.» Paul Valery dans *Instants* qui figure en exergue de l'ouvrage de Herbert Simon, *Models of my Life*,Basic Books, Sloan Foundation Series,1991.. Cette citation pointe l'état de concentration, on n'ose dire de recueillement, qui caractérise le fait de dessiner à la main.

[181] Cf. section 2.2.2

séquence d'arguments de conception alternant entre deux modes de raisonnement : voir comme et voir que, qui traduiraient le double état du concepteur polarisé entre ses conjectures et ses analyses mises en boucle. Pour relever la qualité voir comme ou voir que des arguments de conception, Goldschmidt elle construit un système d'annotation pour reporter les arguments qui, dans le dessin d'esquisse, relèvent soit de l'interprétation et de l'intention, soit de la réception et de l'analyse. Elle enregistre ainsi lors des séances de « *sketching* » les séquences de « mouvements » (moves) de conception. Elle révèle une dialectique systématique entre deux modes de raisonnement, l'un plutôt subjectif - *voir comme* -, l'autre plutôt objectif - *voir que* - qui évoquent les idées du « deuxième » Wittgenstein. Parmi ces arguments ou délibérations, les entrées graphiques servent plutôt l'imagination, à voir comme, et les entrées plus langagières servent plutôt l'analyse, à voir que. Goldschmidt découvre grâce à son système d'annotation une alternance entre les deux postures, *voir comme* et *voir que,* qui fonderait la réflexivité dialectique du dessin d'esquisse. Cette alternance de points de vue permet la découverte de la dynamique propre du projet. La révélation de l'organisation interne d'une forme donnée attendrait d'être exprimée en dehors, exprime les fondements « gestaltistes » de l'étude et notamment sur l'idée de « structures cachées ». Celui-ci nous éclaire aussi sur la méthode qu'emploi Goldschmidt pour révéler la « dialectique du *sketching* » :

> « Goldschmidt describes the process of creative design as an interaction of arguments and moves. Arguments are the labors of the designer's mind, the explorations of the task and the reasoning about it. Moves are the physical motions engendered by the arguments. Moves are what psychologists call the behavioral aspects of human activity. The architect's moves produce the drawings and they supply essential new food for the arguments » » (Arnheim, 1993, p. 15.16) [182]

Le concept de mouvement semble ici renvoyer à un ensemble cohérent d'éléments ayant conduit à une délibération de la part du concepteur. Un mouvement peut être constitué de plusieurs arguments. Nous constatons que le grain auquel compte Goldschmidt est celui des arguments. Elle inscrit son étude dans le cadre plus large d'une campagne d'étude menée au M.I.T au début des années 90, nommée « *Thinking aloud* », et donne quelques indications méthodologiques:

> « The present study of sketching was part of a larger research project held at the Massachusetts Institute of Technology, in which designers participated in "thinking aloud" sessions. These were recorded and then transcribed. The transcriptions, along with the sketches made by the participants (cross referenced with the verbalizations) comprise the protocols which served as data for the present studies. In the first round of exercises, seven experienced architects and one student of architecture worked on the design of a branch library. » (Goldschmidt, 1991a, p. 124) [183]

[182] « Goldschmidt décrit le processus de conception créative comme une interaction d'arguments et de mouvements. Les arguments sont les fruits de l'esprit du concepteur, les explorations de la tâche et des raisonnements afférents. Les mouvements sont des mouvements physiques engendrés par les arguments. Les mouvements sont ce que les psychologues nomment les aspects comportementaux de l'activité humaine. Les mouvements de l'architecte produisent des dessins et fournissent l'essentiel des nouveaux apports pour les arguments. » Trad.Gouezou

[183] « La présente étude du croquis s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche plus vaste mené au Massachusetts Institute of Technology, dans le cadre duquel les concepteurs ont participé à des séances de "réflexion à haute voix".

Ce protocole d'étude *think aloud* (Someren, 1994) ou à voix haute, leurs actions et décisions « graphiques »,

> « Think-aloud protocols are self-reports which differ in an important way from introspection. A think-aloud protocol is collected during a process of creative discovery instead of afterwards. Therefore, the protocol is a direct verbalization of the ongoing process, in which self-reflexive expressions are discouraged » (Verstijnen et al., 1998, p. 522) [184]

Elle explique ensuite le « grain » auquel elle souhaite travailler pour établir la nature du raisonnement de conception. Il apparaît que cette « particule élémentaire » serait l'« argument », soit le motif d'une décision de conception :

> «The questions we are concerned with pertain to the kind of reasoning that is employed in the course of experimentation and transformation, that is, the initial design search. To discover patterns of reasoning, if they exist, we must isolate and analyze the smallest units of design reasoning. This we do through parsing the protocols into design moves, and at an even finer grain, into design arguments. Moves are the basic coherent operations detectable in designing, and arguments are the smallest sensible statements which go into the making of moves. […] In the present study, a design move is defined as an act of reasoning which presents a coherent proposition pertaining to an entity that is being designed» (Goldschmidt, 1991a, p. 125) [185]

Cherchant à caractériser le raisonnement des architectes qui veut transformer une situation existante par son projet, Goldschmidt décide de s'attacher à identifier et dénombrer les arguments qui est donc désigné comme le grain ultime. Evoquant la dimension exploratoire du dessin d'esquisse, qui serait incrémental et itératif conformément, Goldschmidt explique que les modifications du dessin d'esquisse faites en boucles répétitives expriment deux états, l'un relevant de l'*inspiration*, l'autre de l'*analyse* :

> «What most designers do is to draw and re-draw lines, shapes, objects, and "fuzzy stuff," until they can 'read' in, or off what had been drawn, something useful. We call this operation interactive imagery: the simultaneous or almost simultaneous production of a display and the generation of an image that it triggers. Sketching, then, is not merely an act of representation of a preformulated image; in the context we deal with, it is, more often than not, a search for such an image. » (Goldschmidt, 1991a, p. 131) [186]

Celles-ci ont été enregistrées puis transcrites. Les transcriptions, ainsi que les croquis réalisés par les participants (références croisées avec les verbalisations) constituent les protocoles qui ont servi de données pour les présentes études. Au cours de la première série d'exercices, sept architectes expérimentés et un étudiant en architecture ont travaillé à la conception d'une bibliothèque annexe. » Trad.Gouezou

[184] « Les protocoles de réflexion à haute voix (think-aloud, ndlr) sont des auto-rapports qui diffèrent de manière importante de l'introspection. Un protocole de réflexion à haute voix est recueilli au cours d'un processus de découverte créative au lieu d'être recueilli plus tard. Par conséquent, le protocole est une verbalisation directe du processus en cours, dans lequel les expressions auto-reflexive sont découragées. » Trad.Gouezou

[185] « Les questions qui nous occupent se rapportent au type de raisonnement qui est employé au cours de l'expérimentation et de la transformation qui est la quête initiale de la conception. Pour découvrir des motifs de raisonnement, s'ils existent, nous devons isoler et analyser la plus petite unité du raisonnement de conception. Ceci est fait en analysant les protocoles dans les mouvements de conception, et à un grain encore plus fin, dans des arguments de conception. Les mouvements sont les opérations cohérentes de base détectables dans la conception, et les arguments sont les plus petites déclarations sensibles qui entrent dans la fabrication des mouvements. […]. Dans la présente étude, un mouvement de conception est défini comme un acte de raisonnement qui présente une proposition cohérente concernant une entité conçue » Trad.Gouezou

[186] « Ce que font la plupart des concepteurs est dessiner et re-dessiner des lignes, formes, objets et " choses floues " jusqu'à ce qu'ils puissent découvrir en interprétant (read in) ou contrôler visuellement (read off), à partir de ce qui a

Nous traduisons les termes « *read in* » et « *read off* » par « interpréter » et « analyser ». Au-delà de l'argument, Goldschmidt discerne trois types de mouvements, ceux qui impliquent une action de dessin (*active sketching*), impliquant une contemplation de dessin (*contemplenting sketch*) et ceux sans implication graphique (*no graphic input*) qu'elle encode en blanc :

> «For the analysis of sketching, moves were classified as follows: moves made while actively sketching, moves made while contemplating sketches and reading off them, and moves with no graphic input » (Goldschmidt, 1991a, p. 127) [187]

Ce qui nous semble le plus important dans ce graphe d'annotation, c'est principalement la ligne horizontale démarquant les deux types d'arguments *comme* (*AS*) en haut et *que* (*THAT)* en bas:

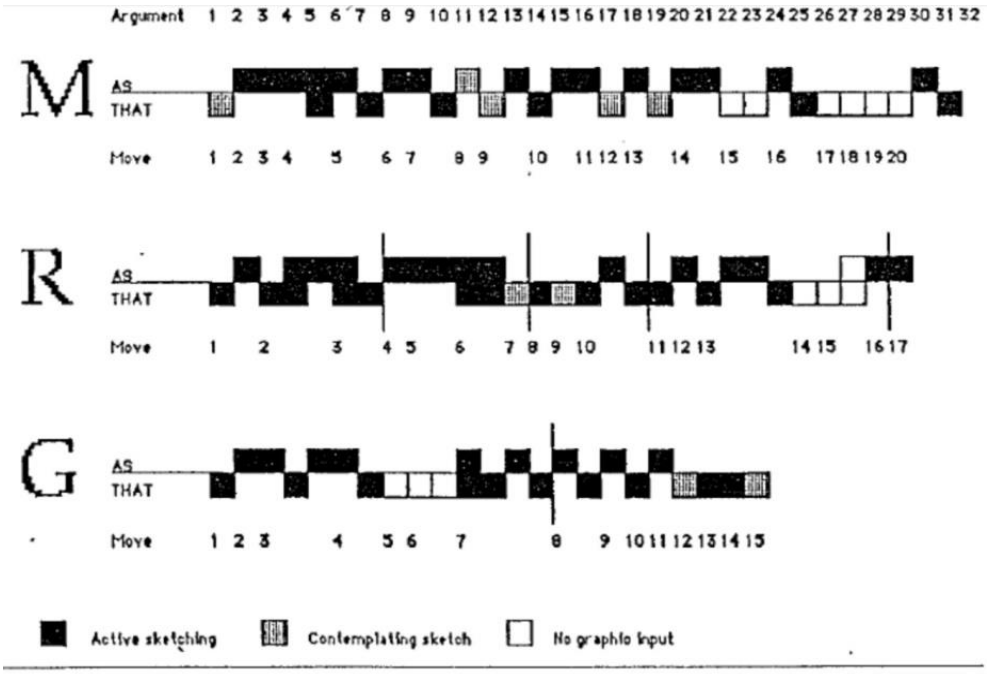


Figure 10. *Notation of As and That Arguments (Martin, Ronna, Gilbert)*

Figure 6 diagramme annotatif de Goldschmidt (Goldschmidt, 1991a, p. 137) servant à monitorer une séance de conception architecturale selon la nature « comme » ou « que » d'un argument architectural.

Nous proposons d'interpréter ce diagramme annotatif dans le tableau ci-dessous :

TERME ANGLAIS	TRADUCTION	INTERPRETATION FONCTIONNELLES
Argument	Argument et délibération	Idée, raisonnement, exploration, ouverture
See as	Voir comme	Exploration : Imaginer, spéculer, explorer. Intuition. Ouverture
See that	Voir que	Effectuation: Observer, analyser, constater. Perspicacité. Fermeture.
Move	Mouvement	Avancée tangible, ensemble cohérent d'arguments.

été dessiné, quelque chose d'utile. Nous appelons cette opération l' "imagerie interactive" : la production simultanée ou quasi-simultanée d'une image affichée et la génération d'une autre image qu'il déclenche. L'esquisse n'est donc pas seulement un acte de représentation d'une image préformée; dans le contexte que nous traitons, elle correspond le plus souvent à une quête d'une telle image » Trad.Gouezou

[187] « Pour l'analyses des esquisses, les mouvements ont été classifiés comme suit : les mouvements faits lors de dessin actif, les mouvements faits lors de la contemplation des esquisses et de leur interprétation, et les mouvements faits sans aucune entrée graphique » Trad.Gouezou

Voir comme et voir que sont des entrées, des qualités d'arguments traduisent le double état du concepteur, polarisé entre ses intentions, ses trouvailles, et ses analyses, devant être juge et parti. D'un côté, l'architecte énonce des idées et hypothèses architecturales qu'il doit ensuite, d'un autre côté, évaluer lui-même avec la plus grande acuité possible. De ce point de vue, la pertinence de l'(auto)analyse conditionne celle des propositions architecturales dans la mesure où l'une doit entrainer l'autre. Sans cette alternance de points de vue, la défaillance de l'arbitrage de l'architecte condamnerait l'avancée du projet. De ce point de vue, le dessin d'esquisse apparaît comme le moyen graphique majeur du procès[188] du projet architectural au cours duquel se confrontent des arguments liés aux intentions et d'autres liés à l'analyse du dessin :

> « The designer is 'seeing as' when he or she is using figural, or 'gestalt' argumentation while 'sketch-thinking'. When 'seeing that', the designer advances nonfigural arguments pertaining to the entity that is being designed. The process of sketching is a systematic dialectics between the 'seeing as' and 'seeing that' reasoning modalities. » (Goldschmidt, 1991a, p. 131) [189]

Une fois utilisée cette grille de lecture, Goldschmidt rend compte des résultats qui font apparaître clairement l'alternance des arguments s'entrainant l'un-l'autre. Il apparaît notablement que les arguments *voir comme* résultant de la cognition de l'architecte, de son imagination et de ses intentions, reposent plus sur le dessin d'esquisse que les arguments *voir que* qui relèvent de la perception et de l'analyse, reposant plus nettement sur le langage, fut-il partiellement appuyé par un support graphique :

> « Half of the arguments […] qualify as 'seeing as' arguments, the other half (15) are 'seeing that' arguments, and one (argument no. 5) is a 'seeing as/that' argument […] For the most part, 'as' arguments are preceded and followed by 'that' arguments and vice versa. All 'as' arguments, with a single exception, were made while sketching. 'That' arguments were made both while sketching and while pausing to contemplate on-line sketches. » (Goldschmidt, 1991a, p. 138)[190]

Goldschmidt accorde du prix au principe d'alternance entre les deux types d'arguments, notons qu'elle le fait sans spécifier cette alternance, et sans compter les arguments de façon explicite, semblant s'en remettre à une comparaison visuelle des trois résultats. Au terme de son étude, elle propose une caractérisation et une définition des dialectiques de l'esquisse : elles correspondent à la réflexivité des arguments telle qu'ils s'entrainent réciproquement dans le dessin d'esquisse :

---

[188] Selon la definition du cnrtl, le procès est une « démarche réflexive ayant pour objet la connaissance d'une chose » in http://www.cnrtl.fr/definition/proc%C3%A8s

[189] « le concepteur "voit comme" quand il ou elle utilise une argumentation "figurative" ou gestaltiste pendant qu'il ou elle pense son esquisse. Quand il ou elle "voit que", le concepteur avance des arguments non "figuratifs" qui appartiennent à l'entité qu'il est en train de concevoir. Le processus d'esquisse est une dialectique systématique entre les modalités de raisonnement "voir comme" et "voir que" » Trad.Gouezou

[190] «La moitié des arguments […] qualifie comme des arguments " voir comme ", l'autre moitié sont des arguments " voir que ", et un seul argument est les deux arguments à la fois, " voir comme ", et " voir que ", […]. Pour la plupart, les arguments " voir comme " sont précédés et suivis par des arguments "que" et vice versa. Tous les arguments "comme", à une exception, sont fait à l'aide du dessin d'esquisse. Les arguments " voir que ", étaient fait à la fois de dessin d'esquisse et de commentaires oraux en contemplant le dessin. » Trad.Gouezou

> « Based on these results it is proposed that design reasoning at the time of sketching is characterized by short sequences of arguments which shift between seeing as and seeing that modalities. Shifts occur both within moves and across moves in a cyclic manner, which we call the dialectics of sketching. » (Goldschmidt, 1991a, p. 138) [191]

Etant donné que d'autres modes d'esquisses sont possibles, par exemple par informatique, nous supposons l'expérience de Goldschmidt est reproductible, fidèles en cela au précepte de « reproductibilité » et de « réfutabilité » d'un fait scientifique de Karl Popper[192]. Le système d'annotation présenté ici pourrait être adapté, à la condition que cela ne dénature pas l'étude menée par Goldschmidt en 1991. D'autres auteurs ont relevé l'importance pour le concepteur de pouvoir confronter des points de vue antagonistes.

2.2.4. Le concept de transformation latérale de Goel

Nous avions évoqué le dilemme du chercheur d'or de Lachaux (Lachaux, 2015) [193] pour exprimer le tiraillement du concepteur pris être le besoin d'exploiter des idées ou le besoin d'explorer de nouvelles idées. Les dessins d'esquisse jouent un rôle dans l'exploitation comme pour l'exploration des idées architecturales en facilitant les transformations comme la découverte de solutions alternatives. A ce sujet, Cross invoque le concept de transformation latérale de Vinod Goel qui exprime l'évolution plutôt progressive du processus de conception guidé vers la recherche de nouvelles solutions :

> « les croquis facilitent la reconnaissance des aspects et des propriétés émergents du concept de la solution. Ils aident le concepteur à faire ce que Goel (Goel V., 1995) appelait des « transformations latérales » dans l'espace de la solution : le déplacement créatif vers de nouvelles alternatives. » (Cross, 2002, p. 44)

Goel semble considérer qu'il y a deux caractéristiques majeures des idées de conception associées au dessin : premièrement le contenu textuel ou dessiné qui tend à se préciser à mesure que la description de la conception gagne en détails ; deuxièmement il existe deux types de transformation des idées : un type de transformation verticale correspondant à la description de plus en plus détaillée d'une idée associé au dessin descriptif plus détaillé - e.g. le dessin géométral - ; et un type de transformation latérale correspondant au passage d'une idée à une autre qui est plutôt associée à l'esquisse dont les traits syntaxique et sémantique et l'ambiguïté la rendent adéquate à la transformation latérale :

> « Two types of transformations can be identified in the problem-solving phases, *lateral* transformations and *vertical* transformations. In a lateral transformation, movement is from one

[191] « Sur la base de ces résultats, il est proposé que le raisonnement de conception au moment de l'esquisse soit caractérisé par de courtes séquences d'arguments qui changent entre des modalités " voir comme " et " voir que ". Les changements se produisent à la fois dans les mouvements et à travers les mouvements de manière cyclique, que nous appelons la dialectique de l'esquisse » Trad.Gouezou

[192] Selon Popper, une règle de l'expérience scientifique est qu'elle soit reproductible, le cas d'échéant par d'autres agents, de manière à pouvoir être confirmée, infirmée, ou amendée : « On ne doit considérer une théorie comme réfutée que si l'on découvre un effet reproductible qui la réfute. »

[193] Cf. section 2.1.6

idea to a slightly different idea. In a vertical transformation, movement is from one idea to a more detailed version of the same idea. » (Goel, 1995, p. 118)[194]

Le dessin informatisé s'est avéré, au contraire, peu dense et insuffisamment ambigu, donc inapte aux transformations latérales. Purcell et Gero expliquent les critères de densité et d'ambiguïté utilisés par Goel pour éprouver les transformations d'idées de conception :

« The frequency with which variations occurred was used as a measure of density while the frequency with which reinterpretations occurred was used as a measure of ambiguity. Comparisons between the computer based design sessions and the sketching sessions revealed that there were significantly higher numbers of variations and reinterpretations in the sketching sessions that were associated with larger numbers of lateral transformations. Goel concludes that sketching is associated with preliminary design because it is a symbol system that is dense and ambiguous and consequently facilitates the lateral transformations that are an essential aspect of this phase of the design process. » (Purcell and Gero, 1998, p. 395) [195]

Comparativement à l'esquisse menée informatiquement, l'esquisse menée à la main présente des qualités d'expressivité offrant un plus grand nombre de variations et de réinterprétations qui sont associées aux transformations latérales. Purcell et Gero désignent le dénominateur commun entre ce concept de transformation latérale et du changement de focalisation à ceux d'autres chercheurs sur le thème de l'exploration et des découvertes :

« 'Seeing as' in Goldschmidt's work, 'moves' in Schon and Wiggins, 'lateral transformations' in Goel and 'focus shifts' in Suwa and Tversky all refer to the phenomenon of reinterpretation and emergence. » (Purcell and Gero, 1998, p. 396) [196]

Purcell et Gero précisent que, face à la nature mal définie des problèmes de conception, les approches itératives et incrémentales qui motivent processus cycliques et dialectiques

«A fourth theme is that reinterpretation and the examining of the new knowledge produced by such re-interpretation result in further reinterpretations and access to new knowledge; that is, there is a cyclic, dialectic process involved. A particularly significant consequence of this process, recognized explicitly in Goldschmidt, Schon and Wiggins and Goel, is that this is a mechanism that allows two fundamental characteristics of design problems to be addressed. The bringing in of new knowledge, brought about by reinterpretation, is a process that

[194] « Deux types de transformations peuvent être identifiés dans les phases de résolution de problèmes, les transformations latérales et les transformations verticales. Dans une transformation latérale, le mouvement est d'une idée à une idée légèrement différente. Dans une transformation verticale, le mouvement passe d'une idée à une version plus détaillée de la même idée. » Trad.Gouezou

[195] « La fréquence des variations a été utilisée comme mesure de la densité, tandis que la fréquence des réinterprétations a été utilisée comme mesure de l'ambiguïté. Les comparaisons entre les séances de conception assistée par ordinateur et les séances de croquis ont révélé qu'il y avait un plus grand nombre de variations et de réinterprétations dans les séances de croquis qui étaient associées à un plus grand nombre de transformations latérales. Goel conclut que le croquis est associé à la conception préliminaire parce qu'il s'agit d'un système de symboles dense et ambigu qui facilite par conséquent les transformations latérales qui sont un aspect essentiel de cette phase du processus de conception. » Trad.Gouezou

[196] « "Voir comme" dans la recherche de Goldschmidt, "les mouvements" dans celle de Schön et Wiggins, "les transformations latérales" dans celle de Goel, dans celle de Suwa et Tversky, les " transformations latérales " et les " changements de focalisation" font référence au phénomène de la réinterprétation et de l'émergence. » Trad.Gouezou

progressively reduces the ill-defined nature of design problems. » (Purcell and Gero, 1998, p. 397) [197]

Goel considère que les qualités pratiques et versatiles du dessin d'esquisse, rapidement exécutés, précis ou ambigus, concrets ou abstraits, soutient l'exploration et les transformations, rendent possibles ces transformations latérales :

« This transformation and exploration of alternative solutions is facilitated by the abstract nature of information being considered (a large percentage still concerned with people and behavior), a relatively low commitment to the generated ideas, the coarseness of detail, and a large number of lateral transformations. Lateral transformations are necessary for widening the problem space and exploring and developing kernel ideas. » (Goel, 1995, p. 126) [198]

Goel conclut ici sur un aspect important qui départage le dessin d'esquisse des dessins informatisés, par leur clarté et leur ambigüité, ils soutiennent les interprétations et l'alternance de points de vue, laissent ouvertes des options de conception :

« ambiguity will facilitate lateral transformations by allowing for multiple interpretations. This leads to the following hypothesis: (H) Symbol systems that are nondense and unambiguous will hamper the exploration and development of alternative solutions (i.e., lateral transformations) and force early crystallization of design development.» (Goel, 1995, p. 194) [199]

Les dessins d'esquisse favorisent les transformations latérales qui correspondent à un déplacement créatif vers de nouvelles alternatives. La différence que supposent ces alternatives expriment une forme de confrontations d'idées de conception.

2.2.5. Dissensualité de la représentation de l'architecture

Un article de Daniel Estevez portant sur le rapport entre les besoins en moyens de figuration des ouvrages des architectes et les outils informatiques censés y répondre, ce qui l'amène à considérer le BIM. Après avoir reconnu et explicité l'intérêt des logiciels de CAO dits « BIM », notamment pour leur capacité à intégrer modélisation géométrique et informationnelle, Estevez interroge la nature consensuelle de la modélisation BIM. Estevez semble considérer que la modélisation en CAO-BIM serait trop « lisse » pour les besoins des concepteurs. Inversement, les représentations plus classiques offrent des qualités d'expressivité telle la liberté, la

[197] « la réinterprétation et l'examen des nouvelles connaissances produites par cette réinterprétation entraînent d'autres réinterprétations et l'accès à de nouvelles connaissances, c'est-à-dire qu'il y a un processus cyclique et dialectique. Une conséquence particulière de ce processus, reconnue explicitement dans Goldschmidt, Schon et Wiggins et Goel, est qu'il s'agit d'un mécanisme qui permet de traiter deux caractéristiques fondamentales des problèmes de conception. L'apport de nouvelles connaissances, induit par la réinterprétation, est un processus qui réduit progressivement la nature "mal structurée" des problèmes de conception. » Trad.Gouezou

[198] « Cette transformation et l'exploration de solutions alternatives sont facilitées par la nature abstraite de l'information considérée […], un engagement relativement faible envers les idées produites, la gros grain des détails et un grand nombre de transformations latérales. Des transformations latérales sont nécessaires pour élargir l'espace du problème et explorer et développer les idées du noyau. » Trad.Gouezou

[199] « L 'ambiguïté facilitera les transformations latérales en permettant des interprétations multiples. Ceci conduit à l'hypothèse suivante : (H) Les systèmes de symboles qui ne sont ni clairs ni ambigus entraveront l'exploration et la mise au point de solutions de rechange (c.-à-d. les transformations latérales) et forceront la cristallisation précoce de l'élaboration du design. » Trad.Gouezou

versatilité et l'ambigüité qui rendent les dessins d'esquisse adéquats pour soutenir l'idéation des architectes. Ces qualités notamment la confrontation de points de vue contradictoires. Il explique le principe dissensuel de la représentation architecturale traditionnelle :

> «[…] dans la représentation de dissensus, ce sont au contraire les conflits, les collisions et les dissociations qui opèrent. On y propose de circuler de représentations en représentations comme de mondes en mondes, sans liens préétablis, sans ressemblances prévues. Plus ces mondes sont étrangers et plus la collision promet d'être productive » (Estevez, 2013a, p. 7)

Estevez envisage la représentation dissensuelle comme étant celle du hiatus et de l'opposition d'éléments ou de points de vue. Les supports dissensuels paraissent disparates laissant supposer qu'il incombe au concepteur de les agencer dans une cohésion, apparaissant comme des documents de travail, transitoires et suggestifs, correspondant à un processus de travail presque impossible à modéliser :

> « En architecture non plus, on ne passe pas de façon linéaire de l 'énoncé d'un problème à sa résolution et la conception ne consiste pas " à partir d'une idée globale, à développer une famille formelle, puis une idée fonctionnelle, pour enfin régler des détails" comme l'affirmait Donald A. Schön. La conception fonctionne au contraire exactement sur le modèle d'une conversation avec la situation. Il lui faut des obstacles, des détours, des relances, des répliques, des controverses. La représentation de consensus cherche à diminuer les désaccords, à unifier les langages, travaillant à rendre plus facile la communication fonctionnelle. Pour atteindre une efficacité d'action elle construit " un accord entre un mode de présentation sensible et un régime d'interprétation de ses données." Tels ne sont pas les principes de l'approche dissensuelle car celle-ci vise à des transpositions et non à des traductions. » (Estevez, 2013a, p. 7)

Estevez considère que le concepteur d'architecture nécessite, d'une façon ou une autre, d'une forme d'adversité pour pouvoir travailler ; ce que d'autres commentateurs, comme Schön (Schön and Wiggins 1992) (Schön, 1983, p. 79). , Boudon (Boudon et al., 1994, p. 31), ou Goldschmidt (Goldschmidt, 1991b) relevaient aussi. Estevez rajoute à cela la dimension paradigmatique, presque conflictuelle dont nous avons vu qu'elle intervenait dans les tâches de sémantisation. Cet antagonisme n'est pas sans évoquer le ressort du dialectisme vu précédemment[200]. Les scenarios de conception qu'a pu observer Omer Akin chez les architectes experts ont révélé l'aspect conflictuel de la problématisation. Au début du processus de conception, lors des tâches de structuration de problèmes, Akin veut évaluer leur discernement dans la perception de l'échelle des problèmes selon qu'ils sont généraux ou localisés. :

> « In restructuring the design problem all subjects relied on conflicts that arose and alternatives which suggested themselves during search. Some of these conflicts and alternatives were local. These were simply remedied by local modifications to the current design. Such conflicts and their remedies do not normally infringe on any aspects of the problem other than the location to which they are confined. Dealing with global conflicts, on the other hand, involved alterations in all or nearly all parts of the solution. Tightness in one part of the solution, lack of proximity between two or more functions, and unsuitably of the location of the main entrance into the

[200] Cf. section 2.2.2

> office suit, for example, are global conflicts which normally require global modifications. » (Akin, 1987, p. 19) [201]

Akin relève l'aspect conflictuel des phases de restructuration de problème, distinguant les conflits locaux des conflits globaux qui impactent toute la conception. Ce caractère trop lisse, consensuel, des logiciels de CAO dits « BIM » serait-il mécaniquement induit par le principe de modélisation qui régit le BIM ? Envisageons que l'effet de « lissage » de tels outils puisse effectivement provenir de leur structuration autour de réponses claires, non ambiguës, excluant questionnements ou polémiques. Inversement à la nature consensuelle des logiciels de modélisation dits « BIM », Estevez relève donc la nature dissensuelle de la représentation architecturale procurant au concepteur l'adversité requise[202]. Précisons que, dans notre étude, nous réserverons le terme de représentation à toute forme n'impliquant pas de modèle BIM, sinon nous parlerons de modélisation. Cette dissociation nous paraît suffisamment claire pour exprimer ce qu'il se passe lorsque les architectes passent d'outils DAO comme Autocad® à un outil de CAO dit « BIM » comme Revit® , Archicad® ou Allplan® ; et exprimer que le passage à la modélisation correspond à une délégation de la sémantique à la machine. Vinod Goël apporte ses catégorisations des étapes et des tâches de conception. Ce faisant, il aide à établir la falsification des approches faisant une analogie entre le fonctionnement des machines et la cognition humaine. Goël avance que le dessin convient à l'idéation des concepteurs d'une manière qui reste inaccessible aux modalités d'esquisse informatisées :

> «freehand sketching is easier to use than MacDraw. One would get a similar hampering of exploration and development if, instead of MacDraw, subjects were forced to draw with a twelve-foot pencil » (Goel, 1992, p. 134) [203]

En matière de supports représentant un projet architectural, Milovanovic et al corroborent cette idée qu'une pluralité et une diversité selon la phase d'avancement du projet pris dans son processus de changements. Pour cela, ils se réfèrent à Goël qui distinguent un changement dans un concept ou un détail d'un concept existant (Milovanovic et al., 2017, p. 11). Goldschmidt voit dans cette étude de Goël la confirmation de la supériorité du dessin d'esquisse à la main sur les modalités de dessin informatisé, étude traduisant, selon elle :

---

[201] « Lors de la restructuration du problème de conception, tous les sujets se sont appuyés sur les conflits qui se sont présentés et sur les alternatives qui se sont suggérées au cours de la recherche. Certains de ces conflits et alternatives étaient locaux. On y a simplement remédié par des modifications locales à la conception actuelle. De tels conflits et leurs remèdes n'empiètent normalement sur aucun aspect du problème autre que l'endroit où ils sont confinés. Le traitement des conflits mondiaux, en revanche, a entraîné des modifications dans toutes ou presque toutes les parties de la solution. L'étanchéité d'une partie de la solution, le manque de proximité entre deux ou plusieurs fonctions et l'emplacement inadéquat de l'entrée principale de la combinaison de bureau, par exemple, sont des conflits mondiaux qui nécessitent normalement des modifications globales.» Trad.Gouezou

[202] ce que nous corrélons à l'acception Barthienne du conflit comme générateur de sens in (Barthes, 1977)

[203] « les croquis à main levée sont plus faciles à utiliser que Mac-Draw. On obtiendrait un obstacle similaire à l'exploration et au développement si, au lieu de MacDraw, les sujets étaient forcés de dessiner avec un crayon de douze pieds » Trad.Gouezou

> « inability of computerized drawing techniques, so far, to compete with free-hand sketching as instrumental design aids in preliminary phases.» (Goldschmidt, 1994, p. 165) [204]

La consensualité du BIM correspond, selon Estevez, à l'inadaptation des approches informatisées pour les tâches d'idéation nuancées, ambivalentes, ambiguës, ou contradictoires. Deshayes synthétise les avantages de l'esquisse de façon à relier la dissensualité à son caractère ambigu procurant les conditions du « flou » nécessaire aux phases créatives. Par opposition à l'injonction à la clarification et à la précision consensuelle que semble provoquer le recours à l'ordinateur, l'esquisse procurerait à l'architecte une représentation partielle, rapide et disjointe (ou dissensuelle) de la complexité d'une partie ou aspect du projet :

> « En fait, l'esquisse semble être ce qui résiste à ce qui est clair, précis ou définitif. Elle répond toutefois à une précision de pensée propre à l'auteur. C'est une schématisation qui opère une réduction de la complexité de l'objet en n'en présentant que l'information jugé pertinente (Estevez 2001). » (Deshayes, 2013, p. 918)

La représentation fragmentée du projet que donne les fragments du dessin d'esquisse semble permettre l'idéation de façon optimale, ce qui sous-entend qu'il résiste aux tentatives de détermination trop précoce, laissant le plus d'options ouvertes que possible. Les phases exploratoires trouvent dans le dessin d'esquisse le medium idéal pour se focaliser ou se défocaliser, pour explorer ou exploiter les idées : pour céder ou résister aux idées alternatives.

2.2.6. Conduite attentionnelle face aux idées alternatives : problème de la « fixation »

Concernant les focalisations du concepteur expérimenté, nous supposons que ses intentions générales envers un projet peuvent lui apparaitre clairement et dans la durée sans pour autant surdéterminer ou prédiquer de possibles découvertes : l'attention du concepteur en phase exploratoire recouvre autant les intentions de projet que l'aménité envers les nouvelles idées. Holzer cite Lawson pour décrire cette combinaison entre intentions à « gros grain » et la prise en compte des toutes les idées survenant au cours de sessions de dessin. Schön introduit le problème de l'expertise du praticien dont les routines de travail lui masquent les surprises et l'incite à exploiter ses connaissances plutôt que d'explorer de nouvelles pistes de solutions :

> « professional specialization can have negative effects. In the individual, a high degree of specialization can lead to a parochial narrowness of vision. […] as a practice becomes more repetitive and routine, and as knowing-in-practice becomes increasingly tacit and spontaneous, the practitioner may miss important opportunities to think about what he is doing » (Schön, 1983, p. 61) [205]

[204] « incapacité des techniques de dessin informatisées à concurrencer jusqu'à présent le dessin à main levée en tant qu'aide à la conception instrumentale dans les phases préliminaires » Trad.Gouezou

[205] « la spécialisation professionnelle peut avoir des effets négatifs. Chez l'individu, un degré élevé de spécialisation peut conduire à une étroitesse de vision de spécialiste. Au fur et à mesure qu'une pratique devient plus répétitive et routinière, et que la connaissance en pratique devient de plus en plus tacite et spontanée, le praticien peut manquer d'importantes occasions de réfléchir à ce qu'il fait.» Trad.Gouezou

L'intérêt d'introduire des changements de points de vue semble assez évident dans la mesure où il suscite des idées alternatives. Si, comme Schön, on considère que le concepteur en sait plus que ce qu'il parvient à dire et qu'il est capable de distinguer plus de potentiel de conception dans ces idées telles qu'il les représente, on peut supposer qu'une conduite attentionnelle propice aux démarches exploratoires appuyées graphiquement aidera à discerner des idées alternatives dont une des vertus sera de casser l'effet de routine qui guette le concepteur expert (Cf. 1.2.3). Dorst et Cross commentent l'idée de Schön liant surprise et créativité :

> « Schön[206] used the notion of 'surprise' in his theory of creative design, where it has the pivotal role of being the impetus that leads to framing and reframing. Surprise is what keeps a designer from routine behaviour. The 'surprising' parts of a problem or solution drive the originality streak in a design project. » (Dorst and Cross, 2001, p. 436) [207]

Le concepteur expert doit décider de céder ou de résister aux surprises et aux idées alternatives, au risque de la fausse piste ou de la fausse bonne idée, ce que les anglo-saxons nomment la fixation de conception (*design fixation*). La recherche de solution de conception bénéficie des connaissances et de l'expérience du concepteur, mais il est admis que cette expertise peut aussi entraver la découverte de solutions pertinentes sous cette dénomination de « fixation » traduisible par fourvoiement, fausse bonne idée ou aveuglement. Les travaux liminaires en psychologie d'Abraham Luchins (Luchins, 1942) préfigurent le problème des fausses bonnes idées sous le concept d'effet de cessation (*Einstellung*) ou effet d'attitude (*Einstellungseffekt*). Selon Luchins, les concepteurs s'arrêtent mentalement à un point de vue particulier de la résolution de problème, privilégiant une solution connue mais qui masque de meilleures solutions potentielles. *Design fixation* est initialement utilisé pour désigner une adhésion aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts limitant la production du design conceptuel (Jansson and Smith, 1991, p. 3) résultant d'une forme d'expertise. David Perkins associe les révolutions en sciences et en conception en évoquant l'ouvrage de Kuhn dédié à la structure des révolutions scientifiques pour expliquer le processus de développement conceptuel en sciences et le développement du *design* en particulier. Le modèle décrit la formation d'un paradigme dominant et la cécité qui en découle, et les résistances qui s'imposeront aux nouvelles idées :

> « As Kuhn puts it: "Novelty emerges only for the man who, knowing with precision what he should expect, is able to recognize that something has gone wrong. Revised proposition: Schemata play a paradoxical role in discovery, making possible discovery and fluency within their scope, inhibiting discovery beyond their scope, but at the same time preparing the way for such discovery by establishing a context against which anomalies and, in general, alternatives become meaningful. » (Perkins, 1981, p. 181) [208]

---

[206] (Schön, 1983)

[207] « Schön a utilisé la notion de " surprise " dans sa théorie du design créatif, où elle a le rôle central d'être l'impulsion qui conduit au cadrage et au recadrage [du problème de conception. NDLR]. La surprise est ce qui empêche un concepteur d'adopter un comportement routinier. Les parties " surprenantes " d'un problème ou d'une solution sont à l'origine de l'originalité d'un projet de design. » Trad.Gouezou

[208] « Comme le dit Kuhn : "La nouveauté n'émerge que pour l'homme qui, sachant avec précision à quoi s'attendre, est capable de reconnaître que quelque chose a mal tourné ». Proposition révisée : les schémas jouent un rôle paradoxal dans la découverte, en rendant possible la découverte et la fluidité dans leur champ d'application, en inhibant la découverte au-delà de leur champ d'application, mais en préparant en même temps la voie à une telle

Le jugement obscurci par des certitudes expertes, l'altération du jugement et du libre arbitre par « l'intime conviction » détourne le concepteur de la découverte ou de la trouvaille, oblitère l'alternative, obscurcie le jugement. Le jugement critique et l'auto critique, la déprise, le détachement, désencombreraient pourtant l'horizon, permettraient d'accéder à un regard neuf, propice aux découvertes inattendues. Nous pouvons raisonnablement supposer que, du point de vue de Baddeley tel qu'il modélise les flux de mémoire, ceci signifierait que la mémoire à long terme (LTM) inhiberait d'une certaine façon la mémoire de travail (STM), plus spontanée. Le concepteur expert aurait besoin d'une contre-expertise vierge de connaissance et d'expériences expertes pour accéder à la nouveauté. Si l'on se réfère au « dilemme du chercheur d'or » de Lachaux, nous pourrions supposer que l'expertise serait aveuglante envers les découvertes inattendues, et qu'elle incite à thésauriser sur les acquis de l'expertise en privilégiant l'exploitation des connaissances et de l'expertise au dépend des démarches exploratoires. Inversement, une certaine ingénuité permettrait de libérer l'attention du concepteur de ses préconçus, lui libérant la voie vers des « filons » d'idées nouvelles. Cette hypothèse présente l'intérêt d'éclairer le rôle du couple image-langage dans les tâches de conception créative. Petra Badke-Schaub et Carlos Cardoso ont montré que, selon un protocole expérimental de conception comparable (Cardoso and Badke-Schaub, 2009), les concepteurs disposant d'un cahier des charges pictural présentait un plus haut taux de fixations de conception (*Design fixation*) : s'agissant de concevoir une pince télescopique, le cahier des charge dessiné incitant à reproduire sans recul critique ni remise en question des caractéristiques graphiques pourtant , à l'évidence, non pertinentes. Comparativement, un cahier des charges textuel semble moins envahir l'imagerie mentale du concepteur et limite l'effet de fixation. Cette observation est toutefois nuancée par le fait que nombre de concepteurs rechignaient à faire l'effort de lire et relire le programme écrit. Cette limitation mise à part, nous trouvons intéressant de constater que l'externalisation d'imageries, par exemple sous la forme d'esquisse, puisse encombrer l'imagination et nuire aux découvertes tandis que le même cahier des charges traduit textuellement y serait plus favorable. Ceci nous amène à considérer que si le dessin d'esquisse reste un moyen d'expression et d'idéation critique majeur, il reste imparfait. Il peut surmobiliser l'attention du concepteur, l'empêcher de se déprendre d'une idée, de se défocaliser d'un point de vue, et renforcer les fixations de conception (*design fixations*). L'étude de Badke-Schaub et Cardoso (Cardoso and Badke-Schaub, 2009) montre que le recours au texte plutôt qu'à l'image peut libérer le système attentionnel du concepteur. L'association des approches picturales et langagière doit être discutée.

2.2.7. Associations du Dessin et du langage

Gabriela Goldschmidt s'est appuyée sur Arnheim puis Kaufmann qui a passé en revue des études expérimentales démontrant l'efficacité de l'imagerie visuelle face aux tâches complexes et ambiguës (Kaufmann, Isaksen, & Dorval, 1991-1992). Goldschmidt présente (Goldschmidt,

découverte en établissant un contexte dans lequel les anomalies et, en général, les alternatives deviennent significatives » Trad.Gouezou

1994, p. 159) Kaufmann comme un pourfendeur de l'« impérialisme linguistique » (Kaufmann, 1980, p. 18), critiquant la propension du langage à préempter la pensée et les sciences aux dépens d'autres formes de cognition, comme la cognition visuelle :

> « there are two modes of thinking, which we could codify as 'analytic-rational' and 'synthetic-nonrational'. In a somewhat exaggerated vein, the former is attributed to 'serious' adult information processing, epitomized in scientific thinking. It is supposed to be conscious, verbal, systematic and intellectual. Nonanalytic or synthetic thinking, on the other hand, is said to be characteristic of the arts. It is believed to be 'a loose, undifferentiated, affective and less logical way of knowing and understanding' [[209]NDLR]. It is highly intuitive, visual (or auditory) and unsystematic, and not necessarily conscious » (Goldschmidt, 1994, p. 159) [210]

Goldschmidt s'appuie sur plusieurs auteurs, dont Kaufmann, pour réhabiliter la pensée visuelle ou artistique par rapport à la pensée langagière et affirmer qu'elle n'est pas moins rationnelle ou systématique. Il n'est pas indigne de dire qu'il peut exister une pensée visuelle performante :

> «We believe that notions of visual thinking that equate it to vision or even to perception are incorrect. We think that visual thinking operations are in no way, developmentally or cognitively, of a lower level compared to linguistic thinking. Finally, we disagree that visual thinking, as a synthetic process, is nonrational or unsystematic. […] We agree with the position that visual thinking is the production of thought via visual imagery » (Goldschmidt, 1994, p. 159)[211]

Cette charge contre une supposée domination du langage dans les activités scientifiques et les activités de conception vise à faire la démonstration que l'imagerie visuelle devrait être considérée à égalité de dignité pour ses performances face aux tâches complexes, Goldschmidt semble vouloir démontrer que la pensée langagière ne se cantonne pas à des qualités « analytique-rationnel » et la pensée visuelle à des qualités « synthétique-non rationnel », et suppose que la combinaison des deux serait profitable. Goldschmidt convient suivant Kaufmann (Kaufmann, 1980) pourtant que l'imagerie (intérieure) tolère l'idiosyncrasie dans la pensée et s'avère performante pour la synthèse de la pensée. Dans ce sens, citons Herbert Simon qui arguait qu'un diagramme vaut dix mille mots (Larkin and Simon, 1987)[212]. D'autres domaines intègrent pensée et langage pour traiter des tâches complexes, à l'exemple de la philosophie dédiée à l'art. Georges Didi-Huberman d'une complémentarité entre image et

[209] (Feist, 1991, p. 146)

[210] « Il y a deux modes de pensée, que nous pourrions codifier comme'analytique-rationnel' et'synthétique-non rationnel'. Dans une veine quelque peu exagérée, la première est attribuée au traitement " sérieux " de l'information des adultes, incarné dans la pensée scientifique. Elle est censée être consciente, verbale, systématique et intellectuelle. La pensée non analytique ou synthétique, en revanche, est considérée comme caractéristique des arts. On croit qu'il s'agit " d'une façon lâche, indifférenciée, affective et moins logique de connaître et de comprendre " (" NDLR "). Il est hautement intuitif, visuel (ou auditif) et non systématique, et pas nécessairement conscient » Trad.Gouezou

[211] « Nous croyons que les notions de pensée visuelle qui l'assimilent à la vision ou même à la perception sont incorrectes. Nous pensons que les opérations de la pensée visuelle ne sont en aucun cas, sur le plan du développement ou de la cognition, d'un niveau inférieur à celui de la pensée linguistique. Enfin, nous ne sommes pas d'accord sur le fait que la pensée visuelle, en tant que processus synthétique, est non rationnelle ou non systématique. Nous sommes d'accord avec la position selon laquelle la pensée visuelle est la production de la pensée par l'imagerie visuelle » Trad.Gouezou

[212] Référence faite à l'article d'Herbert Simon co-écrit en 1987 avec Jill Larkin intitulé « *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousands words* »

langage. S'il traite de l'appréhension d'œuvre d'art et non pas de conception architecturale, nous éclaire néanmoins sur l'intérêt des jeux possibles entre image et langage, notamment dans des dynamiques sensibles et créatives :

> « Regarder cette œuvre me mettait en défaut de langage, mais défaut n'est pas absence irrémédiable : le défaut dénote bien plutôt une incomplétude en mouvement, donc une virtualité, une puissance. Défaut c'est désir, en sorte que regarder, coi, revient à ouvrir une possibilité pour le langage lui-même. Là ou manquent les mots dans l'expérience de l'image —expérience « enfantine », dirait Agamben —, là même s'ouvre un horizon pour inventer des paroles nouvelles, des phrases, des pensées jusqu'alors inenvisagées. » (Didi Huberman, 2014, pp. 52–53)

Nous pensons retrouver là le cas idiosyncratique décrit par Kaufmann : face à une situation ou un objet inédit, le langage faillit mais l'intégration du langage et de l'imagerie offre des perspectives pour aborder cognitivement une nouveauté. Plus loin, Didi Huberman déclare que:

> « Regarder, donc : assumer l'expérience de ne rien garder de stable. Accepter, devant l'image, de perdre les repères de nos propres mots. Accepter l'impouvoir, la désorientation, le non savoir. Mais c'est là, justement, que réside une nouvelle chance pour la parole, pour l'écriture, pour la connaissance et la pensée elles-mêmes. Regarder nous désœuvre, comme l'a si bien raconté Maurice Blanchot à travers la figure d'Orphée. Mais regarder —par-delà le destin funeste du personnage mythique — remet en œuvre, également, ce qui pourrait advenir, du fond même du ressac ou le langage se perd, comme une crête de vague d'où les phrases pourraient jaillir, comme le tourbillon, l'Ursprung [213] d'un nouveau phrasé de la pensée. Et c'est ainsi que l'expérience muette en vient à ouvrir la possibilité d'une expérimentation sur notre propre regard et notre propre capacité à en dire quelque chose » (Didi Huberman, 2014, pp. 52–53)

L'idée présentée ici que le tropisme de l'expertise n'est la maîtrise *a priori*. L'abandon peut, au contraire, être une condition favorable à l'expérimentation d'éléments nouveaux pour l'expert dont la cognition repose sur l'intégration du langage et de l'image. Etudiant les fonctionnalités du dessin d'esquisse, Tversky fait une analogie entre dessin et langage exprimant autant des abstractions que des éléments concrets et spécifiques:

> «sketches have some of the structure of spoken language. Unlike language, however, sketches convey figural and relational properties directly, facilitating memory, inference, and discovery. Nevertheless, there are intriguing parallels between sketches and language, between depictions and descriptions at two levels: at an abstract level, in the very existence of segmentation and combination, and at the level of content of a particular domain, in the particular segments and combinations, most notably in route maps and directions. Under the proper light, analysis of each, descriptions and depictions, can reveal thinking. » (Tversky, 2002, p. 3) [214]

[213] L'origine

[214] « Les dessins d'esquisse ont une partie de la structure de la langue parlée. Contrairement au langage, cependant, les esquisses transmettent directement des propriétés figuratives et relationnelles, facilitant la mémoire, l'inférence et la découverte. Néanmoins, il existe des parallèles intrigants entre les esquisses et le langage, entre les représentations et les descriptions à deux niveaux : à un niveau abstrait, dans l'existence même de la segmentation et de la combinaison, et au niveau du contenu d'un domaine particulier, dans les segments et combinaisons

Outre les fonctionnalités exploratoires et mnémoniques qui caractérisent le dessin d'esquisse, Tversky le compare au langage en notant que la nature graphique du dessin d'esquisse reposant sur la cognition visuelle semble, elle, plus directe et spontanée que la cognition langagière, les sémantiques des traits et les relations afférentes y seraient mieux exprimées. Le dessin d'esquisse et le langage auraient en commun, selon Tversky, la façon de représenter et de décrire les idées ou ouvrages, abstraitement, quand il s'agit d'identifier, ou discrétiser, les éléments puis de les combiner entre eux, et concrètement, quand il s'agit de diriger une pensée du *projet* en le représentant et en le décrivant. Les dessins d'esquisse empruntent au langage dans les représentations abstraites et particulières. Au niveau abstrait soutenant la segmentation et de la combinaison d'éléments, à l'exemple de dessin d'esquisse présentant les principes d'un projet en alliant des traits et des mots traduisant les mêmes concepts. Dans le cas spécifique qu'évoque Suwa, dans les segments et combinaisons particuliers, nous prenons l'exemple de l'insertion d'un bâtiment dans un site où des mots viennent en appui des traits pour spécifier l'orientation et l'implantation, décrire tel détail comme des essences d'arbre, etc. Il est en fait rare que des dessins d'esquisse soient dénués d'indications langagières. Bilda, Gero et Purcell (2006) ont recueilli des propos instructifs d'un architecte à propos du rapport entre dessin d'esquisse qu'il compare au langage :

> «Sketching is like a language, learn to use it, quoting one participant: '*to me it s like speech, as you think you speak. Thoughts are constructed on the way you speak. If you would think first and then speak it will all come out differently. Thus it places a special emphasis apart from documenting your thought process*'. '*So it's like a language then you learn to talk and its essential that you do*' » [215] (Bilda et al., 2006, p. 606)

Pour Michel Conan, qui corrèle aussi la vision et l'intelligence, la cognition visuelle, si elle n'est pas langagière, est un mode d'interaction avec une situation qui pourrait être apparentée à une forme de langage :

> « Non seulement la vision nous fournit une possibilité de nous représenter le monde, de le percevoir, mais aussi et surtout une manière de l'interpréter, d'adapter nos gestes aux formes et aux changements de l'environnement qu'elle nous permet d'appréhender et d'anticiper. La vision constitue une forme inconsciente de l'intelligence. » (Conan, 1990, p. 92)

Michelle Portman et son équipe ont répertorié toutes les recherches portant sur l'implication de la réalité virtuelle (RV) en conception architecturale, paysagère ou urbaine (Portman et al., 2015). Elle acte que la vision est le sens dominant en s'appuyant sur l'ouvrage *Visual Methodologies* de Gillian Rose cadré dans le domaine des *Visual Studies* (Rose, 2001).

---

particuliers, notamment dans les cartes et directions de route. Sous un bon éclairage, l'analyse de chacun, les descriptions et les représentations, peuvent révéler la pensée. » Trad.Gouezou

[215] « Le croquis est comme une langue, apprenez à l'utiliser, en citant un participant : "Pour moi, c'est comme la parole, vous pensez en parlant. Les pensées sont construites sur la façon dont vous parlez. Si vous réfléchissez d'abord et que vous parlez ensuite, tout s'avérera différent. C'est pourquoi elle met un accent particulier sur la documentation de votre processus de réflexion. C'est donc comme une langue, vous apprenez à parler et c'est essentiel que vous le fassiez.» Trad.Gouezou

> « For some writers, the visual is the most fundamental of all senses. Gordon Fyfe and John Law (1988: 2), for example, claim that '*depiction, picturing and seeing are ubiquitous features of the process by which most human beings come to know the world as it really is for them*', and John Berger (1972: 7) suggests that this is because '*seeing comes before words*'. […] Martin Jay (1993) has used the term ocularcentrism to describe the apparent centrality of the visual to contemporary Western life. […] it is suggested that modern forms of understanding the world depend on a scopic regime that equates seeing with knowledge. Chris Jenks (1995), for example, makes this case in an essay entitled '*The Centrality of the Eye in Western Culture'*, arguing that 'looking, seeing and knowing have become perilously intertwined' so that 'the modern world is very much a "seen" phenomenon' (Jenks, 1995: 1, 2) » (Rose, 2001) [216]

Rose cite Fyfe et Law, Berger, Jay et Jencks qui ont contribué à relever les différents aspects de la domination de la vision sur les autres sens. L'oralité et l'écriture supportent ce processus de conception en complément des dessins qui, eux-aussi, supportent une certaine dialectique d'après Goldschmidt. Ces moyens d'expression permettent à l'architecte, qui ne rencontre jamais deux fois le même problème de conception, d'épouser la singularité de la question spécifique que lui pose tel projet, en tel lieu, en tel instant. Pour Chupin, les mots et les dessins ne doivent pas être séparés, la pensée de l'architecte étant à la fois visuelle et textuelle:

> « le document d'architecture, ce brouillon du projet, se caractérise par un couplage, sinon un transfert, entre des fragments de pensée figurales et des fragments de pensée discursives, pour reprendre la puissante distinction de Jean-François Lyotard. L'image et le texte forment une paire constitutive qu'il serait impropre de séparer dans l'analyse génétique. » (Chupin, 2000, p. 88.89)

Le langage peut être vu comme un moyen privilégié d'accéder aux concepts, à des symboles, métaphores, analogies ou à des abstractions. Goldschmidt et Sever, étudiant l'impact du texte sur la créativité de la conception, confrontent l'abstraction conceptuelle à la singularité du contexte de conception, et ce faisant le langage à l'image :

> « Understanding a general concept requires the ability to abstract, and making use of the concept in a specific case necessitates the ability to transform the context of the source to that of a target idea » (Goldschmidt and Sever, 2011, p. 143)[217]

Nous pourrions corréler cette assertion de la complémentarité entre image et langage avec le modèle de Baddeley en avançant que la mémoire à court terme (STM) confrontée à un cas

[216] « Pour certains écrivains, le visuel est le sens le plus fondamental de tous les sens. Gordon Fyfe et John Law (1988 : 2), par exemple, affirment que *" la représentation, l'image et la vue sont des caractéristiques omniprésentes du processus par lequel la plupart des êtres humains en viennent à connaître le monde tel qu'il est réellement pour eux* ", et John Berger (1972 : 7) suggère que c'est parce que " *voir précède les mots* ". Martin Jay (1993) a utilisé le terme ocularcentrisme pour décrire la centralité apparente du visuel dans la vie occidentale contemporaine. (...) il est suggéré que les formes modernes de compréhension du monde dépendent d'un régime scopique qui assimile la vision à la connaissance. Chris Jenks (1995), par exemple, défend ce point de vue dans un essai intitulé '*The Centrality of the Eye in Western Culture '*, dans lequel il affirme que '*regarder, voir et savoir se sont dangereusement entrelacés* ' de sorte que '*le monde moderne est un phénomène* " vu ".» Trad.Gouezou

[217] « La compréhension d'un concept général nécessite la capacité d'abstraction, et l'utilisation du concept dans un cas spécifique nécessite la capacité de transformer le contexte de la source en celui d'une idée cible. » Trad .Gouezou

concret et spécifique est connectée à la mémoire à long terme (LTM), dépositaire du « répertoire » de références du concepteur expert, de son expérience et de ses connaissances alternativement via la boucle visuo spatiale (*visuo spatial sketchbook*) ou via la boucle langagière ou phonologiques (*phonological loops*) (Baddeley, 1992). Ce à quoi nous pourrions rajouter une boucle de proprioception, kinesthésique ou sensationnelle prise en compte plus tard par Baddeley (Baddeley, 2010). Relativement à la boucle phonologique décrite par Baddeley, nous pourrions supposer que le langage constitue un moyen de réduire le phénomène de « fixation » chez le concepteur expert, dont la cognition ne serait plus mobilisée par des images mentales ou des représentations extérieures dont on sait qu'elles sont distrayantes et envahissantes (*design fixations*) (Cardoso and Badke-Schaub, 2009). L'étude de Goldschmidt et Sever démontre l'apport des textes - qu'ils soient avec ou sans rapport avec le problème à résoudre – soutient nettement la créativité observable dans une conception :

> « the grades for originality of the designs that were generated with textual stimuli being present were significantly higher, both for the design of the chair and of the clock. [...] There is no discernible difference between the grades of the designs produced when the textual stimuli had been closely related to the work to be carried out and when the stimuli had been unrelated to it. » (Goldschmidt and Sever, 2011, p. 150) [218]

Ils s'appuient sur l'étude de Perttula postulant que le processus de cognition n'est pas hasardeux mais structuré, selon la proposition de Perttula, par un modèle de recherche de connaissance dans le mémoire interne selon trois étapes : l'interprétation de problème, la recherche mnémonique, et l'adaptation de connaissance précédant la prise de décision (Perttula, 2006):

> « Perttula (2006) explained that new ideas originate in a new combination of ideas found in previously existing knowledge: in his experiments designers had to find solutions based on examples given at the outset of the design process, as well as knowledge retrieved from memory. The main stages in this process are the interpretation of the problem, the search in memory and the adoption of relevant knowledge. » (Goldschmidt and Sever, 2011, p. 143)[219]

Goldschmidt et Sever y justifient l'importance des références : le fait d'être « déjà passé par là », d'avoir une expérience préalable et des exemples figurés graphiquement ou mentalement soutient manifestement la créativité. De ce point de vue, la mémoire est très liée à la créativité du concepteur expert, comme l'on montré Purcell et Gero. Selon Jonson, la communication verbale est le premier outil pouvant rendre les idées explicites (Jonson, 2005, p. 613), et l'interaction entre langage et image ou autres « outils » non langagiers (e.g dessins, ordinateur, maquette):

---

[218] « Les scores pour l'originalité des conceptions qui ont été générés avec des stimuli textuels étaient plus élevées, tant pour la conception de la chaise que pour celui de l'horloge. [...] Il n'y a pas de différence perceptible entre les notes des dessins produits lorsque les stimuli textuels étaient étroitement liés au travail à effectuer et lorsque les stimuli n'étaient pas liés à celui-ci. » Trad.Gouezou

[219] « Perttula (2006) explique que les nouvelles idées naissent d'une nouvelle combinaison d'idées trouvées dans les connaissances existantes : dans ses expériences, les concepteurs devaient trouver des solutions basées sur des exemples donnés au début du processus de conception, ainsi que des connaissances récupérées dans la mémoire. Les principales étapes de ce processus sont l'interprétation du problème, la recherche en mémoire et l'adoption de connaissances pertinentes. » Trad.Gouezou

> « the combination of tools suggests that design ideation was an interaction, or a dialogue between visualisation (non-verbal) and language (verbal), similar to what has been described elsewhere as 'the language of design' (Schon, 1983), 'the translation problem' (Tomes et al., 1998), or the 'picture-word-cycle' (Dorner, 1999). » (Jonson, 2005, p. 622) [220]

Cette approche consistant à combiner image et langage évoque l'expression de Cross, *designerly way of knowing* (Cross, 1982)[221] dépassant la simple complémentarité entre langage et image, cette association entre langage et image est de nature à aider à la prise de conscience de la complexité de tel projet donné, dans les problèmes qu'il pose et de profondeur de pensée qu'il requiert. Nous concluons sur cette idée que la complémentarité entre image et langage offre un jeu d'interprétations adéquate pour les tâches créatives et la préconception architecturale notamment, les carences de l'un étant comblées par l'autre, d'une façon ou d'un autre, permettant de surmonter les impossibilités opposées par l'inconnu, l'indicible et l'indescriptible adversité inhérente à tout projet architectural. De ce point de vue, ce qui fait défaut devient moteur d'une recherche contradictoire. L'acuité et le discernement recherchés par le concepteur face à une expérience de pensée inédite requièrent de pouvoir avoir recours à un mode d'expression lorsque l'autre est défaillant, ou un mode d'expression hybridé entre langage et image. Cette association caractériserait la façon propre au concepteur de constituer un système de connaissances utiles à son projet.

2.2.8. Prévalence des projections géométrales en dessin d'esquisse

Les pratiques du dessin d'esquisse observables en école ou agence d'architecture indiquent une prévalence du dessin en 2D. L'approche par représentation n'exclut pourtant pas le dessin en 3D, comme l'axonométrie ou la perspective, mais il est notable que la plupart des dessins d'esquisse exécutés par les architectes représentent l'architecture en 2D, souvent au moyen de plan, de coupe ou d'élévation selon le principe de projection géométrale. Eastman résume l'intérêt des deux types de représentation, en 2D ou en 3D. L'abstraction de la représentation en 2D semble simplifier les informations pertinentes pour traiter des tâches de conception complexes, tandis que la 3D - d'après Hewitt (1985) - serait plus « perceptuelle » ou sensible:

> « 2D floorplans and sections are important abstractions of a building of immense use in spatially understanding many kinds of circulation, space allocation, construction and other problems. 3D forms and spaces provide another more perceptual representation of a building useful for addressing other issues, including lighting, environmental comfort, and acoustics and appearance (Hewitt 85).» (Eastman, 2001, p. 161)[222]

[220] « la combinaison d'outils suggère que l'idéation du design était une interaction, ou un dialogue entre la visualisation (non verbale) et le langage (verbal), semblable à ce qui a été décrit ailleurs comme " le langage du design " (Schon, 1983), " le problème de traduction " (Tomes et al., 1998) ou le " cycle image - mot - image " (Dorner, 1999). » Trad.Gouezou.

[221] Titre de l'article. Voir aussi (Lawson, 2005b, p. 303)

[222] « Les plans d'étage et les sections en 2D sont des abstractions importantes d'un bâtiment d'une immense utilité pour comprendre spatialement de nombreux types de circulation, d'attribution d'espace, de construction et d'autres problèmes. Les formes et les espaces 3D fournissent une autre représentation plus perceptuelle d'un bâtiment utile pour aborder d'autres questions, notamment l'éclairage, le confort environnemental, l'acoustique et l'apparence (Hewitt 85). » Trad.Gouezou

Lire, exécuter ces dessins en 2D ou 3D suppose aussi de pouvoir corréler les deux types de représentation et les différents types d'informations qu'ils contiennent. Huot souligne que l'usage projections des géométries en 3D ou du dessin géométral, est répandu chez les architectes lorsqu'il s'agit de représenter tout type d'éléments, qu'ils soient techniques ou non :

> « le dessin géométral est un mode de dessin que l'on peut qualifier de plus technique, en deux dimensions, et qui consiste à fragmenter la représentation en coupes, plans et élévations. Le qualificatif de «technique» n'implique pas pour autant, dans les premières phases de conception, une notion de précision dans les mesures et l'échelle. Car, c'est un fait constaté par tous les observateurs de la tâche de conception architecturale, ce type de dessin est celui qui est utilisé majoritairement par les architectes. La perspective, ou autres représentations que l'on pourrait qualifier de réalistes (maquettes), n'interviennent que plus tard dans le projet. » (Huot, 2005, p. 44)

Joaquim Jorge, Laurent Grisoni, Nicolas Michelin et Pierre Leclercq confirment que cette tradition du dessin en plan est confrontée à l'implémentation de la modélisation (BIM)

> « La conception de bâtiments traditionnels reposait en grande partie sur des dessins techniques bidimensionnels alors que la modélisation de l'information sur le bâtiment utilise les trois dimensions spatiales (largeur, hauteur et profondeur) et les augmente avec le temps (4D) et le coûte (5D)» (Jorge et al., 2014, p. 18.19)

Cette modélisation BIM inclut des fonctionnalités avancées de dessin géométral et d'automatisation de production de documents en 2D qui montre ce paradoxe de la persistance du besoin de représentations géométrales en 2D tirées d'un modèle 3D BIM. *A priori*, il peut sembler paradoxal que les architectes se réfèrent aux documents graphiques en 2d alors qu'ils conçoivent des objets en 3D, les bâtiments, et ce bien que leurs aptitudes à la perception spatiales soient avérées. La minoration du rôle de la troisième dimension semble utile aux concepteurs, leur permettant de simplifier les données visuelles, notamment par symbolisation, afin de pouvoir se focaliser sur l'essentiel. Estevez avance que :

> « Le croquis est donc pour l'architecte « un moyen de simplifier la réalité pour illustrer une intention en allant à l'essentiel » (Estevez, 2001, p. 22)

Rester en 2D permettrait sans doute aussi à l'architecte de gérer les détails et problèmes complexes, et de s'appuyer sur les dimensionnements maîtrisés par le biais des échelles scalaires, sans avoir à s'encombrer des déformations liées à la profondeur ; pour Huot :

> « L'architecte ne considère pas réellement l'aspect volumique dans les premières phases de conception, et de toute façon il fait preuve d'une maîtrise de cette dimension même à partir de ses croquis en deux dimensions [Lebahar, 1983; Estevez, 2001] » (Huot, 2005, p. 28)

Holzer pense que la modélisation informatique ne convient pas aux tâches de modifications. Pour la conception créative, où des changements sont nombreux, des supports de représentation plus simples et légers sont plus adaptés (Holzer, 2007, p. 4) que la modélisation BIM. Notons que si les activités de dimensionnement sont importantes en conception architecturale, comme l'argumente Boudon, il se prêtent mieux aux considérations d'échelle :

> « un paradigme de la représentation dans lequel le plan a une fonction majeure, tant chez le cartographe que chez l'architecte, plan intrinsèquement lié, dans son pouvoir représentatif, à une échelle. » (Boudon, 2002, p. 75)

Selon Boudon, conférer leurs dimensions pertinentes aux éléments architecturaux résulte d'un système de contraintes hétérogènes portées par différentes échelles :

> « Pertinence de la *mesure, dimension, niveaux, système, surdétermination, modèle* enfin, tels sont quelques-uns des points d'interrogation majeurs des questions de mesure en architecture et auquel le terme d'échelle est toujours prêt à renvoyer, dans une polysémie qui lui semble bien consubstantielle et destinée à exprimer par le langage en raccourci, des faits de *mesure* d'une grande complexité. Le premier est celui du projet qui doit, comme tel, s'*embrayer* sur le réel. Question d'échelle. » (Boudon, 2002, p. 58)

Le plan de coupe tranche et projette symboliquement l'objet conçu, nous donne à voir sa constitution et son organisation interne en le mettant littéralement à plat, à l'échelle et aux bonnes dimensions. L'ensemble de ces informations affleurant à la surface du plan de coupe, le dialogue visuel avec les documents graphiques devient alors plus évident. Ainsi produits, ces documents mettent à plat les éléments architecturaux et deviennent des documents de référence pour tous ; leur valeur collégialement reconnue devient pratiquement légale, en faisant une pièce opposable. On convient que, dans cette optique de définir, de dimensionner et de dénombrer et quantifier ces éléments architecturaux, la troisième dimension est peu usitée et présenterait peu d'intérêts, hormis à des fins de communication ou de vérification. Inversement, dessiner en 2D semble mieux correspondre aux besoins de focalisation des architectes sur un document 2D selon un point de vue spécifique, au besoin d'aborder leur projet sans s'encombrer d'informations de profondeur spatiale inutiles ; le dessin en 2D serait plus simple et plus rapide, offrirait plus de facilités à mesurer et dimensionner, faciliterait les annotations. Selon la lecture que fait Huot d'Estevez, aplanir le projet architectural sur des documents plans serait une commodité permettant de séparer les problèmes :

> « L'utilisation de cette décomposition des dimensions soulève, selon Daniel ESTEVEZ, le « paradoxe du géométral ». En effet, ces dessins fragmentent le projet, ce qui est à priori contraire à la démarche globale de la résolution du problème, et de plus ne semblent pas prendre en compte les aspects volumiques (deux dimensions). Il ressort surtout des études que présente l'auteur que c'est une décomposition de l'horizontal et du vertical, privilégiant le plan (là ou l'Homme évolue), et focalisant l'architecte sur les points d'intérêt, sans pour autant les déconnecter. Ces représentations ne négligent pas l'aspect tridimensionnel, mais rendent la figuration plus proche des images mentales du concepteur, habitué à les manipuler » (Huot, 2005, p. 44)

La représentation en 2D apparait ici comme une commodité permettant de manipuler séparément des objets 3D complexes, présentant le plus souvent des angles droits et des plans perpendiculaires que des formes complexes, et de les ouvrir symboliquement par le principe de la coupe qui donne à voir sa constitution à l'échelle. L'approche par représentation consiste à répartir sur différents documents les descriptions correspondant à la vision unifiée, intégrative,

que l'architecte a de son projet. Cette description en 2D sert à la conception et, plus tard, à la construction. A l'inverse de cette décomposition du projet par les documents 2D, l'approche par modélisation 3D masquerait autant la constitution interne du projet qu'elle ne l'expose ; à ce titre un simple plan en montre plus, de façon plus directe. Les procédures de production de plans ou de coupes remédient facilement à ce que nous appelons monumentalité du modèle 3D. C'est un fait observé en école ou agence d'architecture, notamment chez ANMA, que la modélisation BIM n'a pas réduit les imprimantes au silence : les documents sont encore imprimés et utilisés, souvent pour être biffés ou livrés comme documentation.

2.3. Précédents de dessin d'esquisse informatisé

2.3.1. La nature non intuitive de l'informatique

Une telle réciprocité dialectique peut-elle exister en informatique ? Dominik Holzer cite Lawson pour argumenter que le processus d'alimentation réciproque observable entre le cerveau et le crayon n'a pas trouvé d'équivalent informatisé :

> « Lawson [[223]NDLR] argues that the way CAD in general is currently implemented in design, planning and construction, falls short of supporting the design process in favour of assisting in drafting and documentation. The reciprocal feedback processes which occur between pencil and brain during conceptual design have not been mirrored with according CAD tools. Lawson draws a distinction between design as a problem-solving activity and an act where designers apply semantic and episodic knowledge to develop solutions through experiential memory » (Holzer, 2007, p. 4) [224]

Lawson explique l'inadéquation de l'informatique aux premières tâches de conception créative qui demandent une rapidité, une souplesse et une détermination minimale des éléments esquissés qui sont trop vagues pour les traiter par ordinateur. L'informatique, imposant ses logiques et sa temporalité, serait incapable de supporter une telle conversation créative:

> « respect to the problems they solve, the process combines slow reflection with intense periods of very rapid mental activity as the designer tries to keep many things in mind at once. This is why designers normally use a very rapid and flexible method of representation, sketching. Compared with the sketch pad, computer-aided design systems are like chiselling on a tablet of stone. They are just too slow to allow the creative conversation with the drawing. The process of sketching itself is at once highly individual and personal and yet the sketches are often largely understandable by other designers » (Lawson, 2005c, p. 388) [225]

Charles Eastman résume diverses critiques adressées à la CAO, notamment la charge cognitive qu'ils provoquent, les difficultés d'apprentissage qui demandent l'attention de l'utilisateur au point de pouvoir le détourner de ses tâches de conception :

> « The negative side of current CAD systems is the user interface complexity of these tools. Architects and engineers have strongly criticized most CAD drawing and modeling tools because of their complexity and long learning time (Johnson 97, Henderson 99:c6). The complexity of most CAD systems is such that without daily use, constant attention to how to

[223] (Lawson, 2005c)

[224] « Lawson soutient que la façon dont la CAO en général est actuellement mise en œuvre dans la conception, la planification et la construction ne permet pas de soutenir le processus de conception en faveur de l'aide à l'esquisse et à la documentation. Les processus de rétroaction réciproque qui se produisent entre le crayon et le cerveau pendant la conception n'ont pas trouvé d'équivalent parmi les outils de CAO . Lawson établit une distinction entre la conception en tant qu'activité de résolution de problèmes et un acte où les concepteurs appliquent des connaissances sémantiques et épisodiques pour développer des solutions grâce à la mémoire d'expériences. » Trad.Gouezou

[225] « En ce qui concerne les problèmes qu'ils résolvent, le processus combine une réflexion lente avec des périodes intenses d'activité mentale très rapide, le concepteur essayant de garder beaucoup de choses à l'esprit à la fois. C'est pourquoi les designers utilisent généralement une méthode de représentation très rapide et flexible, l'esquisse. Comparé au carnet de croquis, les systèmes de conception assistée par ordinateur sont comme un burin sur une tablette de pierre. Ils sont tout simplement trop lents pour permettre la conversation créative avec le dessin. Le processus d'esquisse lui-même est à la fois très individuel et personnel et pourtant les esquisses sont souvent largement compréhensibles par d'autres concepteurs. » Trad.Gouezou

> operate it is required. Users must spend mental effort at the user interface of the tool in order to carry out most operations, distracting them from design issues» (Eastman, 2001, pp. 170–171) [226]

Alberto Perez Gomez affirme que le dessin vaut, par convention, la chose construite, et que ce principe fondateur de la représentation est bouleversé par les techniques de simulations numériques. Baskinger emploie l'expression « les crayons avant les pixels » (*Pencils before Pixels*) (Baskinger, 2008) pour défendre l'utilisation du dessin d'esquisse à la main, plus adapté aux premières phases de l'idéation, reléguant à plus tard l'usage de l'informatique pour les phases d'étude avancée. Spécialiste de l'IHM, Baskinger suggère donc qu'il y a un premier temps pour l'expression libre à la main, puis un temps pour utiliser les machines. Gérard Berry propose une vision relativement « symbiotique » entre hommes et machines. Mis au service des hommes, l'informatique permettrait à l'intelligence humaine d'accéder et de gérer les informations en grande quantité, et donc d'envisager des actions plus pertinentes sur le réel. Selon lui, la répartition des rôles entre l'homme et la machine serait claire :

> « Fondamentalement, l'ordinateur et l'homme sont les deux opposés les plus intégraux qui existent. L'homme est lent, peu rigoureux et très intuitif. L'ordinateur est super rapide, très rigoureux. » (Berry, 2016)

Il incomberait à l'homme les prédispositions intuitives et synthétiques, soit la vision holistique des choses, alors que les tâches ingrates, répétitives, et fastidieuses de gestion d'une grande quantité d'informations reviendraient aux machines :

> « Un homme n'est pas capable de tirer les conséquences de ses actes à l'échelle de milliards d'instructions. Or c'est ça que va faire le programme, il va exécuter des milliards d'instructions. » (Berry, 2016)

Un témoignage d'une architecte utilisatrice d'outils de CAO, Amanda, permet de clarifier son point de vue sur le rapport distancié qu'elle introduit entre ces outils et le dessin à la main :

> «find that hand drawing is a reliable complimentary tool to my digital modelling. With all the things that computers can do now, it is easy to get caught up with the ability of whatever tools you are now using. For example, as a student I used to get crazy with double curvature surfaces when I used Rhino, and I get quite boxy when I use Archicad or Revit. At the end of the day, I learned to rely on my own hand drawn sketches first to convey to myself what my idea really is. That way I know when I make the design in the digital tools, that the idea was my own. Also, this allows me to utilize other digital tools better to suit my need. In retrospect, hand sketching helped me control my digital tools (instead of it controlling me) » (Stott, 2015) [227]

[226] « Le côté négatif des systèmes CAO actuels est la complexité de l'interface utilisateur de ces outils. Les architectes et les ingénieurs ont fortement critiqué la plupart des outils de dessin et de modélisation CAO en raison de leur complexité et de leur long temps d'apprentissage (Johnson 97, Henderson 99:c6). La complexité de la plupart des systèmes de CAO est telle que, sans une utilisation quotidienne, une attention constante doit être portée à leur fonctionnement. Les utilisateurs doivent consacrer un effort mental à l'interface utilisateur de l'outil afin d'effectuer la plupart des opérations, ce qui les distrait des problèmes de conception.»Trad.Gouezou

[227] « Je trouve que le dessin à la main est un outil fiable et complémentaire à ma modélisation numérique. Avec toutes les choses que les ordinateurs peuvent faire maintenant, il est facile de se laisser dépasser par la seule capacité des outils que vous utilisez actuellement. Par exemple, quand j'étais étudiante, je devenais folle avec les surfaces à double courbure quand j'utilisais Rhino, et je devenais assez "cubique" quand j'utilisais Archicad ou Revit. À la fin de la journée, j'apprends à me fier d'abord à mes propres croquis dessinés à la main pour m'aider à

Les particularités des logiciels déterminent la conception, conduisant cette architecte à revenir au dessin d'esquisse, d'énoncer des principes architecturaux originaux auxquels correspondra mieux un logiciel spécifique. Selon Michael Graves, les esquisses sont essentielles à la conception architecturale et servent de « référence » au concepteur. Selon Graves, la computation menace l'art du dessin architectural. Le témoignage de Graves corrobore l'argument de Chupin exposé par Huot décrivant les outils de CAO comme inadaptés aux tâches créatives. Chez Graves, la CAO est désignée comme apte aux tâches de description exhaustive des ouvrages mais inaptes aux tâches créatives, qui semblent trouver d'autres mediums plus naturels. Il voit dans le dessin d'esquisse une modalité didactique irremplaçable :

> « For decades I have argued that architectural drawing can be divided into three types, which I call the "referential sketch," the "preparatory study" and the "definitive drawing." The definitive drawing, the final and most developed of the three, is almost universally produced on the computer nowadays, and that is appropriate. But what about the other two? What is their value in the creative process? What can they teach us? » (Graves, 2012, p. 2)[228]

Outre les arguments semblables à ceux de Graves, Lawson conclut par une critique d'une certaine « linéarité » de l'outil de CAO, et particulièrement du BIM, qui, sont pensés pour réduire les incertitudes, résoudre les problèmes mais restent impropres à traiter l'ambiguïté caractérisant les débuts du projet. Leclercq, Safin et Juchmes confirment que les outils de DAO conviennent peu aux tâches créatives en général, et particulièrement au dessin d'esquisse, notamment pour leur inaptitude à gérer l'ambigüité :

> « le dessin numérique réalisé à l'aide de logiciels courants de DAO (dessin assisté par ordinateur) se caractérise par une grande variété de traits, une grande précision et peu d'ambiguïté [Leclercq 2007, Leclercq & Elsen 2007]. Le dessin à main levée est en outre jugé moins fini et plus créatif que le dessin numérique [Brown 2003]. » (Leclercq et al., 2011, pp. 2–3)

Holzer considère que le BIM convient à la description des ouvrages et aux prescriptions, mais pas à l'idéation :

> «Current BIM capabilities rather seem to lie in the area of design documentation and post-design rationalization than triggering new design solutions » (Holzer, 2007, p. 3)[229]

Huot tente d'expliquer les raisons de l'inadéquation des outils informatiques avec les tâches créatives et intuitives, qu'il semble imputer à la complexité des interfaces utilisateur. Huot parle d'« une explosion des fonctionnalités » au sujet des logiciels de CAO :

---

comprendre ce qu'est vraiment mon idée. De cette façon, je sais quand j'utilise les outils numériques pour concevoir, que l'idée est la mienne. De plus, cela me permet d'utiliser d'autres outils numériques pour mieux répondre à mes besoins. Rétrospectivement, le dessin à la main m'aide à contrôler mes outils numériques (au lieu qu'ils me contrôlent). » Trad.Gouezou

[228] « Pendant des décennies, j'ai soutenu que le dessin d'architecture peut être divisé en trois types, que j'appelle «croquis référentiel», «étude préparatoire» et «dessin définitif». Le dessin définitif, le dernier et le plus développé des trois, est produit presque universellement sur l'ordinateur de nos jours, et c'est approprié. Mais qu'en est-il des deux autres? Quelle est leur valeur dans le processus créatif? Que peuvent-ils nous apprendre?»Trad.Gouezou

[229] « Les capacités courantes du BIM semblent plutôt valoir à partir de la phase descriptive et la rationalisation post conception plutôt que pour déclencher de nouvelles solutions de conception. » Trad.Gouezou

> « Ces systèmes ne savent pas manipuler de telles données floues, imprécises, caractéristiques de la résolution de problèmes comme nous l'avons vu dans le chapitre 1. Le concepteur doit alors rentrer dans la démarche qu'ont fixé les créateurs du logiciel. » (Huot, 2005, p. 35)

Robertson et Radclife se questionnant sur l'impact de la CAO considèrent que cette tendance à la complexification et à l'augmentation des fonctionnalités se poursuit :

> « the general thrust of research and development in CAD does not take into account the problem solving processes, instead concentrating on increasing functionality, integrating with analysis/manufacturing Tools, parametric design, and improving knowledge management for exemple » (Robertson and Radcliffe, 2006, p. 141)[230]

Marcelo Bernal, John Haymaker et Charles Eastman considèrent que les logiciels de conception ont un coût cognitif élevé, qu'ils détournent l'attention des concepteurs, qu'ils ne peuvent intégrer les « instincts » du concepteur :

> « most design tools have a significant cognitive cost (Eastman, 2001, p 22). Designers spend a considerable amount of time attempting to interface their work rather than focusing on the design itself, and as recent studies (Lawson & Dorst, 2009) have pointed out, the fundamental characteristics of designers, such as their tendency to rely on their experience and instincts to make decisions, cannot currently be implemented within computational environments, so we should consider examining less ambitious roles for a computer in design tasks. » (Bernal et al., 2015, p. 165) [231]

Verstijnen et al établissent que les tâches créatives, notamment les activités de combinaison et de structuration des idées, requièrent une liberté d'action qu'entravent les logiciels de CAO en 3D. Selon eux, l'« esquisse d'idée » pourrait trouver un salut dans les tablettes tactiles :

> « In current 3D CAD-programs, neither of the earlier-mentioned components of the creative process, combining and restructuring, appears to be supported very well. Combining is time-consuming where it has to pass effortlessly and restructuring is hardly supported at all. Current 3D CAD-programs, therefore, do not seem appropriate for supporting the creative process in the conceptual phase of design, where idea-sketches are usually made. Electronic sketch tablets, which, like paper and pencil, support unspecified input and leave the combining and restructuring to the sketchers appear to be, for the time being, more appropriate electronic idea creation tools. Currently these tablets lack support facilities for restructuring. » (Verstijnen et al., 1998, p. 544) [232]

---

[230] « L'orientation générale de la recherche et du développement en CAO ne tient pas compte des processus de résolution des problèmes, mais se concentre plutôt sur l'augmentation des fonctionnalités, l'intégration avec les outils d'analyse/fabrication, la conception paramétrique et l'amélioration de la gestion des connaissances par exemple. » Trad.Gouezou

[231] « la plupart des outils de conception ont un coût cognitif significatif (Eastman, 2001, p 22). Les concepteurs passent beaucoup de temps à essayer d'interfacer leur travail plutôt que de se concentrer sur la conception elle-même, et comme des études récentes (Lawson & Dorst, 2009) l'ont souligné, les caractéristiques fondamentales des concepteurs, telles que leur tendance à se fier à leur expérience et à leur instinct pour prendre des décisions, ne peuvent actuellement être appliquées dans des environnements informatiques, nous devrions donc envisager l'examen de rôles moins ambitieux pour un ordinateur dans des tâches de conception. » Trad.Gouezou

[232] « Dans les programmes de CAO 3D actuels, aucune des composantes du processus de création mentionnées plus haut, à savoir la combinaison et la restructuration, ne semble être très bien supportée. La combinaison prend beaucoup de temps alors qu'elle devrait se faire sans effort et la restructuration n'est guère supportée. Les

Notons que les tâches de structuration, associées à la créativité, demanderaient un plus grand effort d'adaptation des tablettes, nous pouvons supposer que cela concerne le caractère flou et ambigu des traits d'esquisse. Huot précise les raisons complexes menant à cette inadéquation des logiciels de CAO qui n'auraient, selon lui, pas été suffisamment pensés en regards des schémas de pensée des architectes et des contextes dans lesquels ils évoluent :

> « Le problème majeur dans la réalisation de ces systèmes a tout de suite été identifié comme " technique ", plutôt qu'humain. Ainsi, les travaux se sont avant tout axés sur la façon de représenter les données géométriques, les algorithmes permettant de les manipuler, de les afficher, ainsi que leur optimisation. Puis, dans les environnements complexes de suivi d'un projet, ce sont posées les questions de la transformation des données pour le passage d'une étape à l'autre, de leur persistance (archivage, indexation), de leur conversion (formats de diffusion, passage d'une géométrie à un plan de construction, transmission des données à une machine-outil). Il en ressort alors une explosion des fonctionnalités, voire même une argumentation basée sur leur nombre et une course à leur optimisation, que ce soit pour la création du modèle (la saisie des données et de leurs paramètres) ou pour les étapes ultérieures. Seulement, l'interfaçage de ces fonctionnalités (le noyau fonctionnel du système) avec l'utilisateur a simplement été réduit à de simples points d'entrée, basant la communication sur la représentation des structures de données du système. Cela soulève à notre avis deux problèmes majeurs, deux inadéquations : une inadéquation cognitive, due à une démarche de conception imposée trop éloignée de celle de l'utilisateur dans les premières phases du projet. Une inadéquation contextuelle, due à un support figuratif et des paradigmes d'interaction très différents de ceux des concepteurs. » (Huot, 2005, p. 35)

Là encore, le constat est partagé à propos des fonctionnalités qui explosent et l'interface qui est inadaptée aux utilisateurs. Citant Michel Beaudouin-Lafon, Huot pointe que les tâches d'idéation sont mal abordées par les systèmes de CAO dont la rigueur et l'exhaustivité conduisent à une exigence d'exactitude inopportune :

> «Michel Beaudouin-Lafon dans [Beaudouin-Lafon, 1997], où il calcule qu'une application "standard offre 150 commandes dans ses menus, 60 boîtes de dialogue, et 80 outils ". Si l'on ne considère alors que le temps nécessaire à la prise en main, l'adaptation et la découverte des fonctionnalités, ce fait rend tout de suite un système de CAO excessivement complexe dans un contexte créatif par rapport à l'utilisation d'un simple papier et d'un crayon » (Huot, 2005, p. 36)

Cette complexité des interfaces de logiciels CAO peut aussi expliquer qu'une compétence acquise au long cours par un architecte confirmé, par exemple sur Autocad®, soit difficile à abandonner pour devoir adopter une nouvelle complexité logicielle, par exemple en CAO-BIM, pour laquelle il faudra redevenir novice. Comment expliquer que l'informatique graphique dédiée à l'architecture paraisse si peu compatible avec l'idéation architecturale ?

---

programmes actuels de CAO 3D ne semblent donc pas appropriés pour soutenir le processus créatif dans la phase conceptuelle de la conception, où les esquisses d'idées sont généralement réalisées. Les tablettes tactiles, qui, comme le papier et le crayon, supportent la saisie de contenu indéterminé et permettent la combinaison et la restructuration semblent être, pour l'instant, des outils de création d'idées électroniques les plus appropriés. Pour le moment, ces tablettes ne disposent pas de mécanismes d'appui à la restructuration. » Trad.Gouezou

> « Ainsi, lorsque l'architecte repasse des traits, les combine, les prolonge, ce n'est pas dans un but esthétique, mais bien dans une démarche de modification et de génération de nouvelles solutions. De telles actions et interactions sont impossibles avec un système de CAO : il est nécessaire d'avoir tout de suite la bonne solution, sous peine de devoir remettre en question toute la construction de l'objet. » (Huot, 2005, p. 35)

Si « crayonner » reste un geste naturel, ancré dans la tradition du métier, pourquoi l'abandonner ? Catherine Deshayes relève bien l'avantage du dessin à la main sur les logiciels de CAO, il est versatile et apte à intégrer divers types de contenus et signifiants (textes, géométrique, scalaire, kinétique) tandis que l'ordinateur impose l'écran comme unique support surdéterminant l'interface graphique (*graphical user interface* ou GUI) :

> « La représentation d'une maison individuelle sur ordinateur permet de visualiser à la fois les représentations textuelles (sous forme écrite ou verbale), spatiales (sous formes volumique en 3D, changement d'échelle avec le zoom, etc.), graphiques (en 2D, le dessin géométrique, etc.) et filmiques (les déplacements virtuels autour ou dans le projet à l'aide d'une caméra virtuelle). L'ordinateur permet de manipuler séquentiellement mais sans changer de support (l'écran) ces types de représentations architectoniques. » (Deshayes, 2013, p. 921)

Eastman conjecture que l'intégration de la CAO en interaction Homme-machine (IHM) pourrait rendre son utilisation plus intuitive, libérant l'attention du concepteur au profit de ses activités de conception. Par transparence, Eastman entend que ces processus deviendraient automatiques et faciles à mettre en œuvre, utilisés naturellement sans même en avoir conscience :

> « An important goal of the field of human-computer interaction is to reduce the cognitive cost of computer interfaces so they can be used transparently, with their operations being automated by the user, as in writing and typing. Can this goal be widely achieved for CAD systems also? It would seem to be mandatory if computer-based sketching is to support the role posed by Goldschmidt (94) of augmenting mental imagery. She identifies some criteria for such sketches: economical, fast, ambiguous and easily managed over time. More generally, all general purpose tools that are meant to support design need to be easily learned to the point of automatization. This is an important criterion that explains many of the limitations of current CAD tools.» (Eastman, 2001, pp. 170–171) [233]

Les fonctionnalités du dessin d'esquisse énoncés par Goldschmidt (économique, rapide, ambigu, modifiable) sont ceux qu'Eastman appelle de ses vœux. En termes d'outil graphique, ces commencements du projet requièrent idéalement un minimum de contraintes en termes

[233] « Un objectif important du domaine de l'interaction homme-machine est de réduire le coût cognitif des interfaces informatiques afin qu'elles puissent être utilisées de manière transparente, leurs opérations étant automatisées par l'utilisateur, comme dans l'écriture et la frappe. Cet objectif peut-il être largement atteint pour les systèmes de CAO également ? Il semble obligatoire si l'on veut que le dessin assisté par ordinateur vienne appuyer le rôle joué par Goldschmidt (94) dans l'augmentation de l'imagerie mentale. Elle identifie quelques critères pour de telles esquisses : économiques, rapides, ambiguës et faciles à gérer dans le temps. Plus généralement, tous les outils d'usage général qui sont destinés à soutenir la conception doivent être facilement appris jusqu'au point d'automatisation. Il s'agit d'un critère important qui explique bon nombre des limites des outils de CAO actuels. »Trad.Gouezou

d'outil, la « transparence »[234] du medium d'expression graphique permettrait au concepteur de rester focalisé sur l'objet du travail avec une grande liberté d'expression.

2.3.2. Informatisations du croquis

De la fin des années soixante à aujourd'hui, divers projets de recherches appuyés par des démonstrateurs ont jalonné l'histoire du dessin d'esquisse informatisé. Sans prétendre à l'exhaustivité, en voici certains que nous avons sélectionné parce qu'ils sont des marqueurs historiques ou parce qu'ils sont significatifs pour notre recherche. La thèse de Stéphane Huot remet en perspective l'histoire de l'informatique graphique dédiée à la conception :

> « Si les ordinateurs ont d'abord été des calculateurs, leurs capacités de calcul associées à l'apparition des tables traçantes et des écrans ont très rapidement été pressenties comme des moyens de productions d'images pour l'étude, la simulation et même l'art. La figure [7 ci-après. NDLR] est la première image produite par un ordinateur (1960), réalisée par William FETTER, à qui l'on crédite aussi le terme de *Computer Graphics*. Mais bien au-delà de son aspect historique, cette image est intéressante car elle a été produite dans le cadre d'un problème de conception, William FETTER étant alors concepteur de la firme BOEING, et travaillant sur l'optimisation de l'espace dans les cockpits d'avion » (Huot, 2005, p. 29)

Les travaux fondateurs du domaine de l'informatique graphique remontent à William Fetter et étaient déjà destinés au dessin de conception. En 1965, William Fetter produit pour Boeing la première image informatique dédiée à la conception : le *boeing man* (Fetter, 1964, p. 34.36).

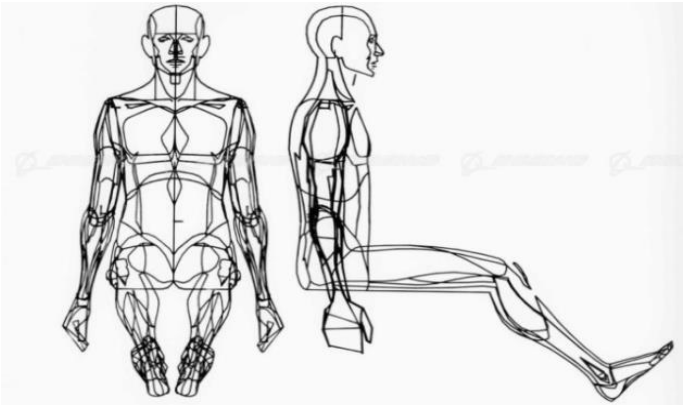


Figure 7 *the Boeing Man* de William Fetter, 1960.

Stéphane Huot indique que ces premiers pas du domaine de l'informatique graphique (*computer graphics*) étaient résolument tournés vers les besoins et usages de conception. Ivan Sutherland (Sutherland, 1963) a développé en 1964, au sein du Lincoln Laboratory du MIT, un projet pionnier constituant aussi une avancée majeure pour l'informatique graphique. Son *mentor*, Steven Coon, directeur du *Lincoln lab*., a travaillé dans l'industrie aéronautique

[234] Pallasmaa citant Charles Bell qui déclarait, en 1933 : « La main de l'homme est si merveilleusement formée, ses gestes témoignent d'une telle force, d'une telle liberté et, en même temps, d'une telle délicatesse qu'il est difficile d'imaginer la complexité d'une pareil instrument. Nous l'utilisons comme nous respirons, sans réfléchir » in (Pallasmaa, 2013, p. 26)

pendant la deuxième guerre mondiale. Nous supposons que Coon a pu y puiser la motivation de lier l'informatique aux domaines de conception. Le *Sketchpad* de Sutherland fait étonnement écho aux outils actuels[235], préfigurant notamment l'organisation logique de l'interface graphique (regroupement périphérique de groupes de commandes, fenêtre graphique centrale dédiée au dessin, partitionnable en quatre fenêtres (e.g. axonométrie, plan, coupe, élévation) et piloté par un crayon optique :

> « Ivan Sutherland [Sutherland, 1963] introduisait Sketchpad, système considéré comme la première interface graphique, qui permettait de créer des images très précises sur l'écran à l'aide d'outils de dessin (lignes, points, coins) et un crayon optique, le « *light pen* ». Ces deux faits subliment à notre avis deux points fondamentaux de l'histoire de la CAO : la première image numérique est l'œuvre d'un concepteur, le premier système informatique permettant de produire des images de manière interactive est basé sur un paradigme de dessin. » (Huot, 2005, p. 32)



Figure 8 Ivan Sutherland, *Sketchpad*. 1964

L'interface via le crayon optique de Sutherland marque le rôle qu'il entend accorder à la main. Une autre version, Sketchpad III (Johnson, 1963), a été développée par Timothy Johnson et permettait de créer de véritables volumes 3D sur la base du stylet optique. D'autres approches de l'IHM liées à l'architecture sont notables, comme celle de Nicholas Negroponte, qui est très significative pour l'architecture notamment pour son approche interdisciplinaire. Le travail de recherche nommé *Radical Pedagogies*[236] (Colomina, 2014) , mené par Beatriz Colomina, Molly Wright Steenson et al répertorie les pédagogies radicales d'enseignement de l'architecture au XXème siècle. Nous y avons trouvé l'étude consacrée à l'architecte Negroponte qui a développé de nombreuses recherches dans le domaine de l'informatique

[235] e.g. l'inteface du logiciel 3dsMax© racheté par Autodesk
[236] http://radical-pedagogies.com/search-cases/a13-architecture-machine-group-media-lab-massachusetts-institute-technology-mit/

dédiée à la conception, et qui a créé en 1985, au sein de la *MIT School of Architecture and Planning* à Boston, le Medialab. En France, Paul Quintrand a cofondé dès 1970 le laboratoire GAMSAU[237] à l'école d'architecture de Marseille et œuvré à la création des premiers logiciels dédiés à l'architecture (e.g. Arlang, Sipa). Ses recherches se distinguent aussi par leur approche épistémologique de l'informatique pour l'architecture. La structuration ultérieure du laboratoire GAMSAU de l'ENSA Marseille pour aboutir à la création de l'UMR MAP[238] (UMR 3495 CNRS/MCC) en 1998 dont le siège est à Marseille et regroupe aujourd'hui, autour du GAMSAU, trois autres équipes à Nancy (CRAI), La Villette (MAACC) et Lyon (ARIA). En Belgique, à l'ULg à Liège, l'équipe LUCID [239] de Pierre Leclercq est un acteur majeur de la recherche dans le domaine reconnu internationalement. Spécialistes des outils informatisés de conception, leurs recherches portent notoirement sur les sujets de collaboration distante, ou sur la gestion de l'énergie, des données, et, plus particulièrement, l'interprétation de dessin d'esquisse en géométrie avec le projet NEMo en 2013. Une étude du LUCID rassemble différentes recherches permettant de caractériser l'esquisse architecturale :

> « La réalisation d'un projet architectural comprend de nombreuses étapes, fait appel à différents acteurs et utilise des ressources et représentations variées [Prost 1992]. Lors des premières phases du projet, la plupart des concepteurs continuent d'utiliser l'esquisse réalisée sur papier plutôt que les systèmes informatiques d'assistance au dessin [Bilda et Damakian 2002]. » (Leclercq et al., 2011, p. 5)

Le laboratoire INESC-ID de Joaquim Jorge, à l'université de Lisbonne, et l'équipe MINT du CRIStAL de l'université de Lille, ont présenté en 2012 le projet *MockupBuilder* (De Araujo et al., 2012) porté par Bruno de Araujo et Gery Casiez. Il est dédié à la modélisation sur table tactile évoquant le logiciel Sketchup® mais piloté gestuellement en RV. Basé sur une interface *on and above*, il intègre l'emploi des doigts pour dessiner sur une table tactile grand format stéréographique au-dessus de laquelle des gestes d'extrusion, captés par un périphérique Kinect®, font littéralement émerger les volumes ainsi conçus. Ce démonstrateur aborde le dessin à des fins de modélisation géométrique, ce qui demande des correctifs interprétant les formes dessinées au doigt, sur la table tactile. Nous privilégions l'expressivité du dessin et non la modélisation géométrique. Le projet de recherche *Agile 3D Sketching with Air Scaffolding* de Kim Yongkwan et al (Yongkwan et al., 2018) est un projet d'authoring en 3D reposant sur un principe de captation du mouvement des mains (*tracking* de type *leap motion*). Ils définissent le *air scaffold* comme étant une étape d'épanelage de formes intermédiaires contenant des informations spatiales significatives (Yongkwan et al., 2018, p. 1).

[237] Groupe d'étude pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et l'Urbanisme
[238] Unité Mixte de Recherche Modèles et simulations pour l'Architecture et le Patrimoine
[239] Lab for User Cognition and Innovative Design

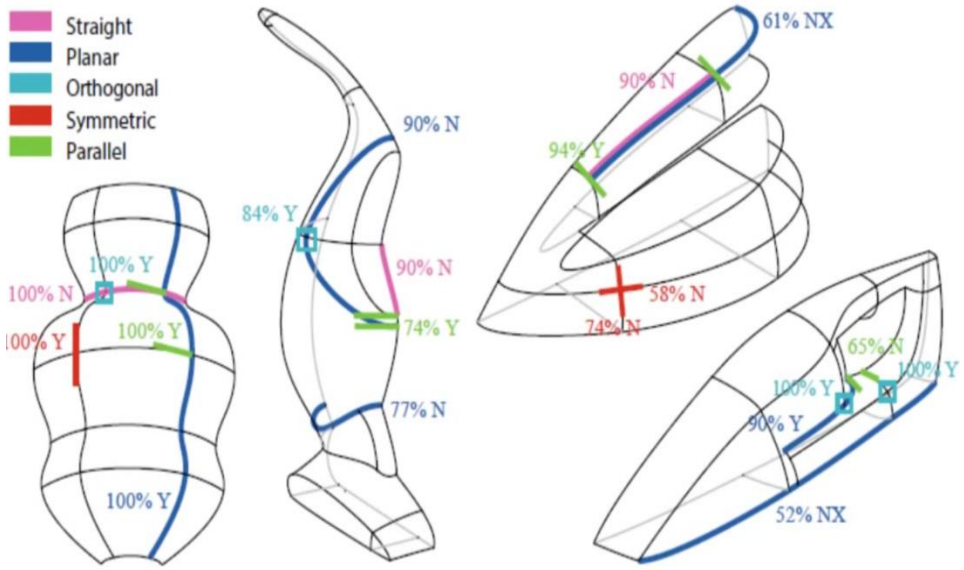


Figure 9 taxonomie de courbes dans l'étude True2form

Parmi ses différents projets menés au DGP de Toronto, le projet « *True2form* » de Karan Singh (Singh et al., 2014) est significatif d'un modèle que nous pourrions qualifier de géométrisation du croquis. Il porte sur l'interprétation en 3d de croquis faits à la main sur la base d'une taxonomie[240] de figures 2D interprétée par des algorithmes. Le dessin d'esquisse n'apparaît pas comme une finalité, mais comme un moyen de modéliser en 3D. Les travaux étayant la piste d'outils de dessin d'esquisse assistés informatiquement, tels sont de Singh, sont particulièrement inspirants. Néanmoins, si nous considérons les logiciels de CAO et de CAO-BIM courants en agence ou école d'architecture, nous dirions que les fonctionnalités de modélisation sont plus performantes et adaptées aux besoins, ce qui nous amènerait à considérer le dessin d'esquisse distinctement des besoins de modélisation 3D. Les IHM poussent à considérer les usages et ont maintenant parfaitement identifié le besoin de liberté d'expression graphique, ou du moins semblent admettre une certaine tolérance à l'incertitude qui est requise par le croquis. Suwa & Tversky contribuent à établir une base pour un mode de dessin d'esquisse compatible avec des outils informatiques. Elles affirment que les logiciels de CAO sont adaptés au travail sur des idées matures obtenues préalablement par des dessins d'esquisse :

> «Another purpose of this study is to explore implications for ways that future design tools, especially sketching tools, assist designers/architects. Many researchers claim that the currently available computational tools do not support naive freehand sketching processes in the early design phases. This is because they are intended for visualizing, comparing, testing and implementing the design ideas that have already been obtained in earlier design processes, not for supporting the very processes in which design ideas occur. Several projects - on pen-based sketch tools have recently addressed this problem. We believe that the present research

[240] Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

> will be able to provide important implications for more endeavors » (Suwa and Tversky, 1997b, p. 387) [241]

En 1997, elles envisageaient des adaptations du dessin d'esquisse à l'informatique qui devait être adapté aux processus d'idéation via l'esquisse à la main. Aujourd'hui, le stylo informatisé existe par des projets de recherche ou dans le commerce, nous n'avons pas pu constater sa dissémination dans les agences ou les écoles d'architecture. Ce que l'on peut y observer est la persistance du dessin à la main pour les phases de conception créative puis, une fois les options générales du projet choisies, le recours aux logiciels de CAO et CAO BIM pour développer le projet architectural dans sa phase descriptive. Le domaine de la réalité virtuelle pourrait offrir des possibilités d'intégrer le dessin d'esquisse et aux logiciels de CAO.

2.3.3. Bénéfices de l'immersion en RV pour la conception

Cette section tente de rendre compte de travaux tentant de caractériser l'expérience immersive en environnement virtuel (EV), et notamment les notions afférentes d'immersion pour observer et de présence pour ressentir l'espace. L'expérience immersive procure la sensation de ressentir l'espace du projet conçu. Dans le cas du dessin spatialisée, e.g sur *Tilt Brush*, l'immersion se fait au cœur même de son dessin, contrairement au dessin classique où le support plan de la feuille instaurait un rapport distancié, conventionnel de la représentation. Dans les deux cas, le sentiment d'immersion dans une scène en 3D est prégnant mais doit être mieux défini. Selon Janet Murray, l'immersion peut être décrite comme une expérience spatiale synthétique mais crédible du point de vue de la proprioception :

> « The sensation of being surrounded by a completely other reality […] that take over all of our attention, our whole perceptual attention. We enjoy […] the feeling of alertness that comes from being in this new place, and the delight that comes from learning to move within it. » (Murray, 1998, pp. 98–99) [242]

Outre l'idée d'être « entouré par » d'un contexte synthétique, Murray suggère que la cohérence esthétique est importante ; ce qui est pointé dans la recherche de Kim Bokyung[243], qui considérait l'impact de cette cohérence comme plus important que l'effet de (photo)réalisme. Si les travaux de Kim Bokyung , intitulés « *Virtual Reality as an artistic medium* », sont centrés

[241] « Un autre but de cette étude est d'explorer les implications sur la façon dont les futurs outils de conception, particulièrement les outils de dessin d'esquisse, assistent les concepteurs/architectes. Plusieurs chercheurs prétendent que les outils informatiques traditionnels disponibles ne supportent pas les processus naïf de d'esquisse à la main dans les premières phases de conception. Ceci parce qu'ils sont destinés à visualiser, comparer, tester et implémenter les idées de conception qui ont déjà été obtenues plus tôt dans les processus de conception, pas pour supporter les premiers processus dans lesquels apparaissent les idées de conception. Plusieurs projets sur des outils d'esquisse basés sur le stylo se sont récemment adressés à ce problème. Nous croyons que la présente recherche sera à même de fournir d'importantes implications pour plus de tentatives » Trad.Gouezou

[242] « une sensation d'être entouré par une réalité complètement différente […] qui capte toute notre attention, notre appareil perceptuel. Nous apprécions […] le sentiment d'éveil de l'esprit que procure ce nouveau lieu, et le plaisir que procure l'apprentissage de s'y mouvoir » Trad.Gouezou

[243] Master effectué à l'école d'architecture de la Aalto Univ. de Helsinki

sur l'approche artistique, ses conclusions nous ont semblées intéressantes, argumentant l'idée que la cohérence esthétique de la scène améliore le sentiment immersif :

> « The study reveals following findings: the coherence of a virtual environment is more crucial than a realistic representation of the physical world in inducing a sense of immersion; the degree of agency is inverse in proportion to the degree of authorship in VR experiences; placing constraints on participants' movements can bring about a strong emotional impact; and the participant's attitude and behaviour changes according to the given identity in a virtual environment » (Bokyung, 2016, p. 1) [244]

Si des études accordent de l'importance aux effets de « réalisme » RV, d'autres montrent que le réalisme n'est pas une qualité indispensable, du moins tant qu'une certaine cohérence esthétique émane de l'environnement virtuel. Bokyung suggère que certains modes d'interactions non réalistes peuvent avoir du sens:

> «The other school includes magical properties as part of a virtual environment. For example, Slater and Usoh (1994) claim that "magical interaction"—actions which are not possible in everyday reality such as flying, scaling the environment, or teleportation—can influence a sense of immersion by helping the participant to be taken away to another world. » (Bokyung, 2016, p. 34) [245]

Selon Bokyung, la réalité virtuelle n'est pas condamnée à dupliquer la réalité à la condition d'une forme de cohérence esthétique. Des actions « magiques » comme les vols ou changements d'échelle sont possibles, accroissant sans doute le sentiment de contrôle ; nous supposons que nous sommes exonérés de répliquer le réel, et que nous pouvons proposer des biais à certaines conditions, dont la cohérence esthétique de l'environnement. Vercher et Mestre définissent l'immersion comme le potentiel d'actions et de stimulations sensorielles. Ils définissent la présence comme l'ensemble élargi de comportements adopté par l'utilisateur pris entre le monde réel, essentiellement par la proprioception, et l'Environnement Virtuel (EV) essentiellement par la vision :

> « Immersion can be defined as all the objective characteristics of a virtual environment that aim towards providing a user with sensory stimulations and possibilities to carry out actions in this virtual environment. Presence is defined as all the behaviours, from verbal contacts to complex behaviours, going through physiological reactions, which are observed when the user faces this

[244] « L'étude révèle les découvertes suivantes : la cohérence d'un environnement virtuel est plus importante que la représentation réaliste du monde physique pour induire un sens de l'immersion ; le degré d'agentivité est inversement proportionnel au degré de paternité expressive dans les expériences de réalité virtuelle ; disposer des contraintes sur les mouvements des participants peut entrainer un fort impact émotionnel ; les attitudes et comportements des participants changent selon une identité donnée à un environnement virtuel. » Trad.Gouezou

[245] « L'autre école comprend les « propriétés magiques » dans le cadre d'un environnement virtuel. Par exemple, Slater et Usoh (1994) affirment que les " interactions magiques " qui ne sont pas possibles dans la réalité quotidienne, telles que le vol, la mise à l'échelle de l'environnement ou la téléportation, peuvent influencer un sentiment d'immersion en aidant le participant à être emporté dans un autre monde » Trad.Gouezou

environment. It is defined with respect to two environments; the real environment and the virtual environment. » (Vercher and Mestre, 2011, p. 99) [246]

Ils se réfèrent à Gibson et Sheridan pour clarifier ces termes et concepts d' immersion, comme mouvement individuel induisant un tracé visuel spécifique (Gibson, 1979), et de présence comme sentiment d'être présent physiquement grâce à des dispositifs visuels, auditifs ou de forces générées par un ordinateur (Sheridan, 1992, p. 122) :

« This characteristic of immersion brings us closer to Gibson's theses (1979), for whom the individual, by his behaviour, creates visual movement (and on a more general level, sensory information) using which he takes the information in the environment (also see Mestre, 1992; Warren, 1998). In this regard, Sheridan (1992) observes that the concept of interaction with the virtual environment is multi-dimensional.» (Vercher and Mestre, 2011, p. 95) [247]

Vercher et Mestre comprennent autrement la notion de cohérence de l'immersion en RV, en la ramenant à des aspects temporels : la proprioception et le système de RV devant être synchronisés pour garantir le sentiment immersif :

« The coherence of a virtual world exists at two levels: Firstly, it has to do with temporally synchronising and ensuring a spatial coherence between the different sensory stimulations. The second level includes the first level and concerns the "response time" of the system, between an action of the subject and one (or more) sensory feedback(s) corresponding to this action » (Vercher and Mestre, 2011, p. 96) [248]

Selon Mel Slater et Sylvia Wilbur, l'immersion serait un concept technologique devant être distingué du concept psychologique de présence :

« Immersion can be an objective and quantifiable description of what any particular system does provide. Presence is a state of consciousness, the (psychological) sense of being in the virtual environment » (Slater and Wilbur, 1997, p. 4) [249]

La distinction introduite ici entre « immersion » et « présence » est intéressante car l'état de conscience du sujet immergé privilégie la perception visuelle dédiée à l'observation des autres

[246] « L'immersion peut être définie comme l'ensemble des caractéristiques objectives d'un environnement virtuel qui visent à fournir à l'utilisateur des stimulations sensorielles et des possibilités de réaliser des actions dans cet environnement virtuel. La présence se définit comme l'ensemble des comportements, des contacts verbaux aux comportements complexes, en passant par les réactions physiologiques, qui sont observées lorsque l'utilisateur est confronté à cet environnement. Il est défini par rapport à deux environnements : l'environnement réel et l'environnement virtuel. » Trad.Gouezou

[247] « Cette caractéristique de l'immersion nous rapproche des thèses de Gibson (1979), pour lesquelles l'individu, par son comportement, crée un mouvement visuel (et à un niveau plus général, une information sensorielle) par lequel il prend l'information dans son environnement (voir aussi Mestre, 1992 ; Warren, 1998). A cet égard, Sheridan (1992) observe que le concept d'interaction avec l'environnement virtuel est multidimensionnel» Trad.Gouezou. notre traduction ne tient pas compte de la version originale en français au éditions Presses des Mines.

[248] « La cohérence d'un monde virtuel existe à deux niveaux : Il s'agit tout d'abord de synchroniser dans le temps et d'assurer une cohérence spatiale entre les différentes stimulations sensorielles. Le deuxième niveau comprend le premier niveau et concerne le "temps de réponse" du système, entre une action du sujet et un (ou plusieurs) retour(s) sensoriel(s) correspondant à cette action. » Trad.Gouezou

[249] « L'immersion peut être une description objective et quantifiable de ce que fournit un système particulier. La présence est un état de conscience, le sentiment (psychologique) d'être dans l'environnement virtuel. » Trad.Gouezou

sens qui permettent de ressentir, pouvant aussi nourrir un sentiment de présence en site réel, grâce notamment à la proprioception[250]. Citons l'exemple de l'effet de parallaxe en EV où un mouvement de tête capté en temps réel entraine une nouvelle perspective dans la scène 3D qui nous a paru essentiel lors de nos essais. Inversement à Slate et Wilbur, Bob Witmer et Michael Singer considèrent que l'immersion ne se réduit pas à une dimension objective et quantifiable mais revêt aussi une dimension psychologique. Ils ne distinguent pas immersion et présence:

> « Immersion is a psychological state characterized by perceiving oneself to be enveloped by, included in, and interacting with an environment that provides a continuous stream of stimuli and experiences. A VE that produces a greater sense of immersion will produce higher levels of presence » (Witmer and Singer, 1998, p. 227) [251]

Cette absence de distinction présente l'intérêt de clarifier ce qui relève de l'expérience immersive tirée d'un système d'EV de ce qui relève du ressenti humain, concept psychologique de présence qui est détaillée plus loin :

> « presence is a multifaceted concept. It is not simply a matter of how involved an individual becomes in a situation or environment, though involvement is an essential component. Our research with the PQ indicates that control, which affects immersion, is essential for a strong sense of presence, and that other factors are also important. Selective attention, along with perceptual fidelity and other sensory factors, affects how much presence is reported » (Witmer and Singer, 1998, p. 239) [252]

Selon Witmer et Singer, le sentiment de présence est fonction du contrôle exercé sur l'immersion, les focalisations d'attention, la cohérence (fidélité) de perception. En somme, le sentiment de présence est renforcé par une immersion fluide et naturelle. Daniel Mestre et Jean-Louis Vercher, avant d'établir une méthode d'évaluation de la présence, définissent la présence comme un concept multiple de perception alliant des aspects psychologiques, physiologiques et sensori-moteurs, considérés subjectivement :

> «Presence is a multidimensional concept, involving psychological aspects (the classic meaning given by the Anglo-Saxon authors of the 90s to this term, a feeling of being "in'' the virtual world) as well as sensorimotor aspects. Presence is thus understood as the behavioural effects (broadly speaking) of immersive environments. It involves looking for the motor, perceptual and

[250] Selon la définition du CNRTL : « Proprioception, […] Perception qu'a l'homme de son propre corps, par les sensations kinesthésiques et posturales en relation avec la situation du corps par rapport à l'intensité de l'attraction terrestre. Les données de la proprioception sont sensorielles et proviennent des trois sources suivantes: tactile (...), kinesthésiques [sic] (...), labyrinthique. L'accumulation des données de la proprioception fournit à l'être humain son schéma corporel […] in http://www.cnrtl.fr/definition/proprioception

[251] « L'immersion est un état psychologique caractérisé par le fait de se percevoir enveloppé, inclus et en interaction avec un environnement qui fournit un flux continu de stimuli et d'expériences. Un EV qui produit un plus grand sentiment d'immersion produira des niveaux plus élevés de présence. » Trad.Gouezou

[252] « la présence est un concept à multiples facettes. Il ne s'agit pas simplement de savoir dans quelle mesure une personne est impliquée dans une situation ou un environnement, bien que l'implication soit une composante essentielle. Nos recherches avec le questionnaire indiquent que le contrôle, qui affecte l'immersion, est essentiel pour un fort sentiment de présence, et que d'autres facteurs sont également importants. L'attention sélective, ainsi que la fidélité perceptuelle et d'autres facteurs sensoriels, influent sur la quantité de présence signalée. »

> cognitive position of the subject, between the real and virtual worlds. » (Vercher and Mestre, 2011, p. 97) [253]

Logiquement, la difficulté d'évaluer la perception de l'immersion est grande, puisque les dimensions subjectives sont évidentes mais inquantifiables. Nous relevons néanmoins que le sentiment de contrôle, notamment des mouvements et déplacements, est un facteur majeur dans la consolidation du sentiment de présence. Concernant la question de la reconnaissance de l'espace virtuel, les époux Turner ont conceptualisé l'idée de « sens du lieu » (*sense of place*) comme étant un des aspects important du sens de l'immersion, « sens du lieu » qu'ils décomposent en quatre critères : les caractéristiques physiques de l'environnement servant de repères, la sémantique et les affects liés aux différents types de mémoire dont la mémoire associative, l'affordance du lieu, que nous pourrions qualifier de jeu de potentialités laissé entre le sujet et son environnement, et les interactions sociales qui peuvent y prendre place. Les Turner considèrent que si la réalité virtuelle peut reproduire les lieux, ils n'induisent pas automatiquement le sens du lieu qui y serait associé dans la mesure où l'expérience personnelle est prévalente :

> «Place results from our experience of a space, our memories and emotional attachment to that space and the meanings we attach to it » (Turner and Turner, 2006, p. 4) [254]

Cette notion de « sens du lieu » importerait particulièrement du point de vue architectural et urbain, souvent « contextualisé ». Chaque projet et chaque contexte qui y sont rattachés, impliqueraient une dynamique d'action et de transformation pouvant induire un « sens du lieu » particulier. Dans le domaine des neurosciences, signalons que les travaux de John O'Keefe en 1971 sur les « *cellules de lieux* » et des époux Moser sur les « *cellules de grilles* » en 2005, travaux nobélisés en 2014 dans le domaine de la physiologie, nous frappent par les liens qu'ils établissent entre la perception spatiale et l'orientation (GPS humain) respectivement dans l'Hippocampe et dans le cortex dorsomédial entorhinal (aires 28 et 34 de Brodmann). Or, on sait aussi le rôle joué par ces zones dans la perception du temps, zones qui seraient donc spécialisées dans la perception du temps et de l'espace. John O'Keefe et les époux Moser attachent la perception spatiale à la mémoire :

> « past and present may […] be overlapping in time in place cells when animals are rapidly tele-transported between two physical different environments (Jezek et al., 2011). An encoding of places in the past and present might allow the brain to remember temporally ordered representations of events, like in the episodic memory. After a memory has been encoded, the memory undergoes further consolidation, e.g. during sleep. Ensemble recording with multi-electrodes in sleeping animals has made possible the study of how memories of spatial routes

[253] « La présence est un concept multidimensionnel, impliquant des aspects psychologiques (le sens classique donné par les auteurs anglo-saxons des années 90 à ce terme, un sentiment d'être " dans " le monde virtuel) ainsi que des aspects sensorimoteurs. La présence est donc comprise comme les effets comportementaux (au sens large) des environnements immersifs. Il s'agit de rechercher la position motrice, perceptuelle et cognitive du sujet, entre le monde réel et le monde virtuel. » Trad.Gouezou

[254] « L'expérience du lieu est fondamentalement propre à chacun de nous. Les lieux résultent de notre expérience de l'espace, notre mémoire et notre attachement émotionnel à cet espace et les significations qu'on lui confère.] » Trad.Gouezou

achieved during active navigation are consolidated. Groups of place cells that are activated in a particular sequence during the behaviour display the same sequence of activation in episodes during the subsequent sleep » (O'Keefe et al., 2014a, p. 5) [255]

Dans cette description apparaît la corrélation entre espace et temps sous la forme de cartes cognitives que viendrait consolider le sommeil (notamment les phases de sommeil paradoxal). Des moyens de recherche identiques employés à étudier la cognition de l'architecte en pleine action fournirait tout à fait l'occasion d'une recherche passionnante, notamment parce que nous parlerions alors d'espace en puissance, en train d'être créés, avec l'étude des tentatives que ce processus « exploratoire » comporte. En rapport avec cette question de navigation, Sheridan distingue deux types d'interaction permettant de décrire le concept de présence : le premier type d'interaction serait lié aux questions de navigation, notamment lorsque l'utilisateur change de point de vue ; le second serait lié aux phénomènes de continuité immersive entre le monde réel tel qu'il peut être perçu via la proprioception et le monde virtuel tel qu'il est perçu visuellement, toute rupture visuelle ou kinesthésique serait proscrite. Nous supposons que ce deuxième type de continuité est très lié au premier type, la navigation, que nous associons fortement aux changements de point de vue infimes générés par les mouvements de tête, induisant l'effet de parallaxe qu'évoque explicitement Sheridan. Il décrit un sens de la présence en RV qui évoque le sens du lieu des Turner (Turner and Turner, 2006) qui est déterminé par la perception visuelle, la perception du positionnement propre parmi des géométries liées aux mouvements par effet de parallaxe, et les modifications de géométries :

« I propose that there are three principal determinants of the sense of presence:
1 extent of sensory information (the transmitted bits of information concerning a salient variable to appropriate sensors of the observer);
2 control of relation of sensors to environment (e.g., ability of the observer to modify his viewpoint for visual parallax or visual field, or to reposition his head to modify binaural hearing, or ability to perform haptic search); and
3 ability to modify physical environment (e.g., the extent of motor control to actually change objects in the environment or their relation to one another) » (Sheridan, 1992, p. 122) [256]

[255] « Le passé et le présent peuvent […] se chevaucher dans le temps dans les cellules de lieu lorsque les animaux sont rapidement télé-transportés entre deux environnements physiques différents (Jezek et al., 2011). Un encodage de lieux dans le passé et le présent pourrait permettre au cerveau de se souvenir des représentations temporellement ordonnées des événements, comme dans la mémoire épisodique. Une fois qu'une mémoire a été encodée, la mémoire subit une consolidation supplémentaire, e.g. pendant le sommeil. L'enregistrement d'ensemble avec des multi-électrodes d'animaux endormis a rendu possible l'étude de la consolidation des mémoires des itinéraires spatiaux réalisés lors de la navigation active. Les groupes de cellules de lieu qui sont activés dans une séquence particulière pendant le comportement affichent la même séquence d'activation dans les épisodes pendant le sommeil subséquent. » Trad.Gouezou

[256] « Je propose qu'il y ait trois principaux déterminants du sens de la présence :
1 étendue de l'information sensorielle (les bits d'information transmis concernant une variable saillante aux capteurs appropriés de l'observateur) ;
2 le contrôle de la relation entre les capteurs et l'environnement (p. ex. la capacité de l'observateur de modifier son point de vue pour la parallaxe visuelle ou le champ visuel, ou de repositionner sa tête pour modifier l'audition binaurale, ou la capacité d'effectuer une recherche haptique) ; et
3 la capacité de modifier l'environnement physique (p. ex. l'étendue du contrôle moteur pour modifier réellement les objets dans l'environnement ou leur relation les uns avec les autres) » Trad.Gouezou

De notre point de vue, étant donné qu'un logiciel de CAO quelconque permettrait tout aussi bien de prendre des informations visuelles sur une scène en 3D et d'en changer la forme, seul le deuxième critère lié à l'effet de parallaxe distingue vraiment l'expérience immersive en RV d'une expérience « informatique » quelconque, d'autant plus que cet effet est perçu suite à un mouvement réel du corps ou de la tête de l'utilisateur. Concernant cette proximité de perception entre l'espace réel et l'espace en RV, l'étude de Sheridan conclut que, pour des raisons de limites matérielle et logicielle, l'isomorphisme entre les géométries réelles et virtuelles n'est pas optimal, pouvant justifier un ajustement du *mapping* de la scène en RV. Enfin, une étude de Kieferle de 2001 entend, dans leur étude *Showing the invisible, Seven rules for a new approach of using immersive virtual reality in architecture*, poser les bases de ce que devrait être un contexte de RV appliqué à l'architecture :

> «The seven rules [[257] NDLR] provide an outline, of how the architects traditional notations are extended by VR, not replaced. By mapping "the invisible" into the visible, by transferring invisible properties into a visual representation, a better understanding for complex correlations can be achieved. On the one hand it supports the author of a system to better comprehend it, on the other hand it helps to communicate a system, its properties and the intentions of the author. » (Kieferle and Woessner, 2001, p. 380) [258]

Les auteurs supposent que les situations complexes de conception gagneraient à recourir à l'immersion en RV en offrant les moyens de rendre visible des propriétés, notions ou autres informations abstraites pour spatialiser un marquage sur des éléments géométriques. La question sous-jacente est de savoir si la RV a un impact significatif dans l'appréhension d'une situation de conception. Dans une étude consacrée à la perception de la lumière naturelle en RV, Chamilothori et al ont établi qu'il n'y avait pas de différence de perception notable dans la perception spatiale subjective entre une scène réelle et une scène comparable en RV (Chamilothori et al., 2018). Une étude de Schneider et al (2018) proposent un protocole d'évaluation de l'expérience utilisateur d'Environnements Virtuels (EV) nommé VReval décomposé en trois critères séparés : l'orientation, l'expérience spatiale et les annotations quantitatives. Une étude de Schneider et al recueille le ressenti d'étudiants en architecture après une immersion en RV dans un projet architectural :

> « Regarding the use of VR, we can summarize that students felt that they could experience spatial dimensions more "realistically". They also stated that they noticed problems much better in the first–person virtual reality simulation, than in the "traditional" representations ("In VR i saw some details and mistakes i did which were hard to see in plans, sections, and views"). Some

[257] Dans l'ordre donné par les auteurs: *Forget reality paradigms; Show what you think; Show properties not appearance; Speak to several senses; Provide interaction; Use animation; Work in a team* in (Kieferle and Woessner, 2001)

[258] « Les sept lois procurent un contour pour savoir comment les notations traditionnelles des architectes sont étendues en RV, mais pas remplacées. En cartographiant " l'invisible " en visible, en transférant les propriétés invisibles en représentations visuelles, une meilleure compréhension pour que les corrélations complexes puissent être obtenues. D'un côté, elle soutient l'auteur d'un système de mieux le comprendre, d'un autre côté il aide à communiquer sur ce système, ses propriétés et les intentions de l'auteur. » Trad.Gouezou

> students reported that they felt "more emotional" in VR; e.g. when they suddenly "felt" the narrowness or darkness of certain hallways. » (Schneider et al., 2018, p. 106) [259]

Même s'ils ne proviennent pas de concepteurs confirmés, ces témoignages croisent ceux de Kieferle et Woessner (2001) et montrent aussi que l'acuité des concepteurs pourrait être augmentée par l'immersion en RV, notamment du point de vue de la détection de problèmes.

2.3.4. Précédents d'environnement virtuel dédiées à la conception

Nous compilons ici diverses études dédiées à la RV ou RA dédiées à la conception et plus spécifiquement à des revues d'articles ou « états de l'art » dédiées à ce thème telles celle de Portman et al (2015), Freitas et Ruschel (2013) ou Milovanovic et al (2017). Dans cette dernière étude, il est dit qu'il n'existe aucun article monitorant des pratiques routinières de RV ou RA en agences d'architecture :

> « As far as using VR during the architectural design process is concerned, to date, there are no relevant studies of its use in a real practice situation. Nonetheless, some professionals integrate immersive VR in their daily design activities as illustrated in Demangel's interview in Dezeen magazine [260] » (Milovanovic et al., 2017, p. 7)[261]

Julie Milovanovic, Guillaume Moreau, Daniel Siret et Francis Miguet ont mené une enquête sur les dispositifs de Réalité Virtuelle (RV) et de Réalité Augmentée (RA) dédiés à l'architecture (Milovanovic et al., 2017). Ils présentent l'étude de Schnabel et al (2007) expliquant que les différents environnements virtuels ont permis aux concepteurs d'améliorer leurs capacités imaginatives et exploratoires. Nous rajoutons que cette étude discerne et caractérise différents types d'environnements plus ou moins proches de la réalité et évaluent leur impact. Nous les résumons comme suit :

- la Réalité Virtuelle (*Virtual Reality*) (Hendrickson and R. Rehak, 1993), la Réalité Mixte (*Mixed Reality*),
- la Réalité Augmentée (*Augmented Reality*),
- la Virtualité Augmentée (*Augmented Virtuality*) qui ajoute des objets réels dans un EV (Milgram and Colquhoun, 1999),
- la Réalité Médiatée (*Mediated Reality*) (Starner et al., 1997) qui désigne la modification ou altération de la perception humaine,

---

[259] « En ce qui concerne l'utilisation de la RV, nous pouvons résumer que les élèves ont estimé qu'ils pouvaient expérimenter les dimensions spatiales de manière plus "réaliste". Ils ont également déclaré qu'ils ont remarqué des problèmes beaucoup mieux dans la simulation de réalité virtuelle de first-personne que dans les représentations "traditionnelles" ("Dans VR j'ai vu quelques détails et erreurs que j'ai fait et qui étaient difficiles à voir dans les plans, sections, et vues"). Certains élèves ont déclaré qu'ils se sentaient "plus émotifs" dans la RV, par exemple lorsqu'ils ont soudainement "senti" l'étroitesse ou l'obscurité de certains couloirs. » Trad.Gouezou

[260] https://www.dezeen.com/2015/04/27/virtual-reality-architecture-more-powerful-cocaine-oculus-rift-ty-hedfan-olivier-demangel-ivr-nation/ consulté à nouveau le 8/4/19

[261] « En ce qui concerne l'utilisation de la RV dans le processus de conception architecturale, il n'existe à ce jour aucune étude pertinente sur son utilisation dans une situation réelle de pratique. Néanmoins, certains professionnels intègrent la RV immersive dans leurs activités quotidiennes de conception comme l'illustre l'interview de Demangel dans le magazine » Trad.Gouezou

- la Réalité Amplifiée (*Amplified Reality*) (Falk et al., 1999) qui désigne l'amplification des propriétés perçues d'un objet donné,
- la Réalité Virtualisée (*virtualized reality*) (Kanade et al., 1995) qui désigne la virtualisation d'objets réels (via une captation à points de vue multiples[262]) pour peupler un EV.

A cette liste (Schnabel et al., 2007) nous n'intégrons pas les « réalités croisées » (*Cross Reality ou X reality* XR) (Paradiso and Landay, 2009). James Paradiso et James Landay désignent ainsi un environnement synthétique débordant sur la réalité, le tout étant éminemment dynamique où les entrées réelles ou virtuelles se croisent presque continuellement :

> « we distinguish cross-reality in that the conduits to and from virtuality will be everywhere, not restricted to head-worn or other wearable/mobile devices. Similarly, cross-reality's virtual digs aren't just filled with inanimate data—they're also social environments, populated with human-driven avatars and other representations of residents and sensor data » (Paradiso and Landay, 2009, p. 14) [263]

Cette dernière catégorie d'environnement synthétique n'apparait pas clairement discernable, pouvant recouvrir plusieurs sens et comportant plusieurs aspects de la liste de Schnabel et al. Revenant à l'étude de Schnabel et al (2007), notre attention s'est arrêtée sur cette dernière forme alternative de réalité que Schnabel et al nomment la réalité virtualisée (*Virtualized Reality*) décrivant des scènes 3D photoréalistes obtenues par la saisie d'une scène réelle par de multiples appareils photos dont les points de vue sont interpolés pour restituer une scène virtuelle 3D enrichie d'artefacts réel :

---

[262] « Virtualized Reality virtualizes real-world scenes by capturing scene descriptions - the 3D structure of the scene being aligned with its image - from a number of transcription angles (Kanade, Narayanan and Rander 1995). The scene can then be synthesized from any viewpoint using one or more scene descriptions. To generate data for such a medium, the event needs to be recorded using many cameras, which are positioned so as to cover the event from all sides [...] Stereo or image-matching methods, which are the key components in Virtualized Reality, are well studied as presented by Kanade, Narayanan and Rander (1995). Precise reconstruction of the entire scene using a large number of cameras is, however, relatively new. Kanade (1991) proposed the use of multi-camera stereo using supercomputers for creating 3D models to enrich the virtual world. Rioux, Godin and Blais (1992) outlined a procedure to communicate complete 3D information about an object using depth and reflectance. » (Schnabel et al., 2007, pp. 6–7) :
« La Réalité Virtualisée virtualise des scènes du monde réel en capturant des descriptions de scènes - la structure 3D de la scène étant alignée avec son image - sous plusieurs angles de transcription (Kanade, Narayananan et Rander 1995). La scène peut ensuite être synthétisée à partir de n'importe quel point de vue en utilisant une ou plusieurs descriptions de scène. Pour générer des données pour un tel support, l'événement doit être enregistré à l'aide de nombreuses caméras positionnées de manière à couvrir l'événement de tous les côtés (...) Les méthodes stéréo ou de correspondance d'images, qui sont les éléments clés de la réalité virtualisée, sont bien étudiées, comme le présentent Kanade, Narayananan et Rander (1995). La reconstruction précise de l'ensemble de la scène à l'aide d'un grand nombre de caméras est cependant relativement nouvelle. Kanade (1991) a proposé l'utilisation de la stéréoscopie multi-caméras utilisant des supercalculateurs pour créer des modèles 3D afin d'enrichir le monde virtuel. Rioux, Godin et Blais (1992) ont décrit une procédure pour communiquer des informations 3D complètes sur un objet en utilisant la profondeur et la réflexion.» Trad.Gouezou

[263] « nous distinguons la réalité croisée en ce que les conduits de et vers la virtualité seront partout, non limités aux dispositifs portés sur la tête ou à d'autres dispositifs portables/mobiles. De même, les incursions virtuelles de la réalité croisée ne sont pas seulement alimentées par des données inanimées - elles sont aussi des environnements sociaux, peuplés d'avatars humains et d'autres représentations des résidents et des données de capteurs. » Trad.Gouezou

> « Compared with VR, Virtualized Reality involves a larger level of interaction with real artefacts because users can change the viewpoint to a virtualized event/scene by changing the positions and layout of the cameras, which can be regarded as a type of artefact in a real surrounding. The level of correlation between perception and action is higher than VR, where viewers are able to move in a virtual world where the perceived scene is isolated from the real artefacts (action space). Their worlds are usually artificially created using simplistic CAD models and set viewpoints virtually. Virtualized Reality, in contrast, starts with a real world and virtualizes it, maintaining a relatively higher correlation of perception and action. Apparently, the two dimensions of these two realities are lower than in Mediated Reality, AR, Amplified Reality and Actual Reality. Virtualized Reality can be an entirely new generation of design medium» (Schnabel et al., 2007, p. 12) [264]

Schnabel et al argumentent que la réalité virtualisée (*Virtualized Reality*), en partant du monde réel pour le virtualiser, produit une meilleure expérience immersive, et sans doute aussi une plus grande sensation de présence dans un lieu spécifique que les scènes constituées de géométries abstraites tirées de logiciels de CAO jugées pauvres sémantiquement.



Figure 10 Montage des figures 2 (profondeur de champs) et 6 scène reconstituée (Kanade et al., 1995, pp. 5–6)

Les architectes auraient intérêt à utiliser une solution comparable. La scène et le modèle 3D sont saisis et restitués en profondeur de champ, les pixels sont positionnés ou mappé sur ce modèle afin de recomposer les textures correspondantes. La qualité de l'immersion et de la présence en EV pourrait être améliorée par la présentation d'un contenu 3D photoréaliste

[264] « Par rapport à la réalité virtuelle, la réalité virtualisée implique un plus grand niveau d'interaction avec des artefacts réels parce que les utilisateurs peuvent changer le point de vue en un événement/scène virtualisé en modifiant la position et la disposition des caméras, qui peuvent être considérées comme un type d'artefact dans un environnement réel. Le niveau de corrélation entre la perception et l'action est plus élevé que la RV, où le spectateur peut se déplacer dans un monde virtuel où la scène perçue est isolée des artefacts réels (espace d'action). Leurs mondes sont généralement créés artificiellement à l'aide de modèles CAO simplistes et de points de vue virtuels. La réalité virtualisée, en revanche, part d'un monde réel et le virtualise, en maintenant une corrélation relativement plus élevée de perception et d'action. Apparemment, les deux dimensions de ces deux réalités sont plus basses que dans la Réalité Médiée, AR, Réalité Amplifiée et Réalité Réelle. La réalité virtualisée peut être une toute nouvelle génération de *medium* de conception » Trad.Gouezou

susceptible de fournir un « effet de réel » propice à la projection de l'utilisateur dans la scène. La scène virtuelle serait à la fois plus riche sémantiquement, plus proche de la réalité et pourrait contribuer à rendre le système supportant l'EV plus « transparent ». Les moyens de produire un tel contenu sont multiples et il nous semble que, aujourd'hui, la photogrammétrie[265] ou la lasergrammétrie[266] sont des techniques adaptées pour rendre réaliste l'expérience immersive. Márcia Freitas et Coeli Ruschel ont produit une étude compilant toutes les activités liant la RV et la RA en lien avec le domaine architectural et recouvrent près de deux cents publications liant architecture RV et RA. L'étude laisse apparaitre que le rythme général de publications fléchie (Freitas and Ruschel, 2013) , bien qu'en observant leurs statistiques à un grain plus fin, elles précisent que certaines publications semblent délaisser des sujets RV et RA tandis que d'autres en maintiennent ou en augmentent le rythme de publication :

> « it was observed that publishing patterns differ among conferences. While ACADIA, CAADRIA and ECAADE show decrease of interest in VR and AR, CAAD Futures, SIGRADI and ASCAAD slightly point in the direction of maintenance or increase » (Freitas and Ruschel, 2013, p. 9) [267]

Elles relèvent que la plupart de ces études mettent l'accent sur l'utilisation de la RV et la RA pour la visualisation architecturale, sur les aspects technologiques et leur applicabilité aux domaines de l'éducation et de la pratique, notamment collaborative (Freitas and Ruschel, 2013, p. 9). Concernant la RV qui nous concerne plus, elles adoptent la définition qu'en donnent Grigore Burdea et Philippe Coiffet qui associent les fonctions d'immersion et d'interactivité à une modélisation informatique en 3D offrant une nouvelle forme d'appréhension spatiale propre à l'exploration (Burdea and Coiffet, 2003, p. 2), ce que corroborent les étudiants en architecture interviewés par Sven Schneider et son équipe et al dont le protocole VReval établit que les visualisations en RV permettent de mieux identifier les problèmes majeurs d'une conception (Schneider et al., 2018, p. 839). Dorta et son équipe proposent un dispositif virtuel permettant la collaboration distante (Dorta et al., 2011). Ce dispositif est partiellement repris par le projet CORAULIS (Milovanovic et al., 2017) devant allier RV et table tactile. Reprenant la métaphore de WIM (*Worlds in Miniature* ou Monde en Miniature) (Stoakley et al., 1995), Milovanovic et al argumentent que les interfaces égocentriques et exocentriques sont intégrables et pertinentes dans leur association pour manipuler les mêmes objets 3D :

> « [Coraulis] take advantage of both VR and SAR technologies: the feeling of embodiment for VR and the sharable quality of the augmented tabletop for SAR, to support design and codesign. Design is a collaborative activity, which includes individual moments of ideation. We aim to provide a platform for both individuation and collaboration by creating an environment that corresponds to the particularity of designing activities during studio critique sessions» (Milovanovic et al., 2017, p. 10)[268]

[265] Ou modélisation par inférence de points via des campagnes de photographies
[266] Ou le relevé de points par campagne de scannage d'un espace réel
[267] « Il était observable que les tendances diffèrent d'une conférence à l'autre. Alors que ACADIA, CAADRIA et ECAADE montrent une diminution de l'intérêt pour la RV et l'AR, CAAD Futures, SIGRADI et ASCAAD pointent légèrement dans la direction du maintien ou de l'augmentation. » Trad.Gouezou
[268] « [Coraulis] tire parti des technologies de la RV et de la SRA : le sentiment d'incarnation de la RV et la qualité partagée du plateau de table amélioré pour la SRA, pour soutenir le design et la conception de codes. Le design

Le concept de SAR (*Spatial augmented reality*) désigne un dispositif de RA où les objets virtuels sont rendus directement dans l'espace réel de l'utilisateur, dispensant du recours à un casque (Raskar et al., 1998). CORAULIS permet la manipulation d'objets 3D dans l'environnement virtuel en vraie grandeur via un casque de RA représentant une réplique miniature de la scène grandeur nature visualisée dans un casque. Ce dernier dispositif évoque le précédent *SketSha* de Pierre Leclercq et son équipe (Leclercq and Elsen, 2010) qui couplait une surface pour le dessin libre sur écran tactile et un écran soutenant l'interaction distante. Gu, Kim et Maher évaluent une association semblable entre un dispositif de conception via la RV couplé à une table tactile (Gu et al., 2011). (Rahimian and Ibrahim, 2011) ont évalué le potentiel de la RV pour accomplir des tâches classiques de conception, comme la définition des espaces de problèmes et de solutions (*problem space, solution space*). Marc Aurel Schnabel et son équipe ont montré l'effet immersif de la RV sur les concepteurs vivant l'expérience spatiale avec un engagement et une interactivité supérieurs. Un certain sens du lieu corrélable au concept de la présence -plus émotionnel chez (Turner and Turner, 2006, p. 4) [269], plus sensible chez (Sheridan, 1992, p. 122) - fait correspondre le caractère interactif et immersif de la VR et le caractère conversationnel de la conception. L'immersion en EV améliore le *feedback* avec la situation de conception:

> « Digital 3D models are generated with an immediacy similar to physical models, and constructed to improve the perception of designs developed by drawings. Thus through its involvement, MRs and VEs provide immediate feedback to its users, which is otherwise impossible within CAD or traditional design media. Designers can therefore interact with their design threedimensionally as each and every object within the AR and VR is experienced through movement and interaction. This possibility offers a different method for designers to 'converse' with their design, and spatial issues are addressed in a manner akin to the real world » (Schnabel et al., 2008, p. 297) [270]

Schnabel, Kvan, Seichter et Donath affirment que l'immersion en RV permet une meilleure appréhension de l'espace, plus directe que les représentations traditionnelles, qui facilite l'évolution et la manipulation du projet qui bénéficie au processus de co-conception distante (Schnabel et al., 2007). Même s'il s'agit de conception collaborative entre étudiants basée sur de la modélisation géométrique, alors que nous étudions le travail individuel de concepteurs

---

est une activité collaborative, qui comprend des moments individuels d'idéation. Notre objectif est de fournir une plateforme pour l'individuation et la collaboration en créant un environnement qui correspond à la particularité des activités de design pendant les sessions de critique en studio.» Trad .Gouezou

[269] « L'expérience du lieu est fondamentalement propre à chacun de nous. Les lieux résultent de notre expérience de l'espace, notre mémoire et notre attachement émotionnel à cet espace et les significations qu'on lui confère.] » Trad.Gouezou

[270] « Les modèles numériques 3D sont générés avec une immédiateté similaire à celle des modèles physiques, et construits pour améliorer la perception des conceptions développées par les dessins. Ainsi, grâce à son implication, les RM et les EV [Réalité Mixte et Environnement Virtuel, NDLR] fournissent un «*feedback* » [retour, NDLR] » immédiat à ses utilisateurs, ce qui est autrement impossible dans le cadre de la CAO ou des moyens de conception traditionnels. Les concepteurs peuvent donc interagir avec leur design de façon tridimensionnelle car chaque objet dans la RA et la VR est expérimenté par le mouvement et l'interaction. Cette possibilité offre aux concepteurs une méthode différente pour " converser " avec leur conception, et les questions spatiales sont abordées d'une manière similaire au monde réel. » Trad.Gouezou

experts sur la base du dessin d'esquisse, nous comprenons que l'impact du VeDS (*Virtuel Environment Design Studio*) est notable aussi au plan individuel, que Milovanovic et al nomment VRAD (*Virtual Reality Aided Design*) :

> « immersive VE permitted students to experience their ideas differently from non-immersive environments. They reported that the interaction of idea and creation was direct, that each stroke had an immediate impact on the design. It seemed for the students that they communicated directly with their model, being part of it and not only the distant scaleless designer. They told us this led to new forms and new arrangements » (Schnabel, 2001, p. 398) [271]

Comparativement à leurs habitudes, les étudiants n'ont pu dessiner en 2D mais modéliser des géométries en 3D avec l'appui de textes pour communiquer avec les étudiants distants pour se laisser des notes doublées par une connexion vocale avec un collaborateur distant. Un seul étudiant revêt le casque de RV à la fois. La méthode dérivée de la méthode « *think aloud* » semble avoir permis de recueillir les témoignages positifs de la séance de conception en EV, notamment pour le sentiment de présence qui semble révéler des aspects et des détails jugés inaccessibles autrement. Selon Julie Milovanovic, Guillaume Moreau, Daniel Siret, et Francis Miguet (Milovanovic et al., 2017) les dispositifs de RV consistent en des dispositifs techniques d'affichage particuliers personnel ou egocentrique (HMD[272]) (Sutherland, 1968). L'usage d'un casque de RV correspond plutôt à l'immersion individuelle en Environnement Virtuel (EV), convenant a priori mal aux sessions collaboratives :

> « the use of HMD for VR can be considered as a limit for collaboration since it affects users's communicational behaviors, particularly because it prevents primary natural nonverbal communication like eye contact » (Milovanovic et al., 2017, p. 4) [273]

Les auteurs soulignent que, pour ce qui concerne la communication non verbale, le casque de RV n'est pas optimal comparativement à un cube immersif de type *CAVE*®[274]. Les auteurs qualifient des dispositifs de RV collectifs ou exocentriques comme le *CAVE*[275] (Cruz-Neira et

[271] « L'EV immersif a permis aux élèves de vivre leurs idées différemment des environnements non immersifs. Ils ont indiqué que l'interaction de l'idée et de la création était directe, que chaque trait avait un impact immédiat sur la conception. Pour les étudiants, il semblait qu'ils communiquaient directement avec leur modèle, en faisant partie et pas seulement avec le designer distant et sans échelle. Ils nous ont dit que cela a mené à de nouvelles formes et à de nouveaux arrangements. » Trad.Gouezou

[272] Head Mounted Display, comme affichage portatif

[273] « l'utilisation de la DMD pour la RV peut être considérée comme une limite à la collaboration car elle affecte les comportements de communication des utilisateurs, notamment parce qu'elle empêche la communication non verbale naturelle primaire comme le contact visuel » Trad.Gouezou

[274] Mais nous avons pu assister à des démonstrations de collaboration en casque de RV au salon Laval Virtual en 2015 où la scène 3D était restituée en nuages de points, permettant la collaboration des participants

[275] « the CAVE is a new virtual reality Interface. In its abstract design, it consists of a room whose walls, celling and floor surround a viewer with prolectecl images. Its design overcomes many of the problems encountered by other virtual reality systems and can be constructed from currently available technology. Suspension of disbelief and viewer-centered perspective, are often used to describe such systems. » (Cruz-Neira et al., 1992, p. 65)
« Le CAVE est une nouvelle interface de réalité virtuelle. Dans sa conception abstraite, il s'agit d'une pièce dont les murs, le plafond et le sol entourent un spectateur d'images projetées. Sa conception permet de surmonter bon nombre des problèmes rencontrés par d'autres systèmes de réalité virtuelle et peut être construite à partir de la technologie actuellement disponible. La suspension de l'incrédulité et la perspective centrée sur le spectateur sont souvent utilisées pour décrire de tels systèmes. » Trad.Gouezou

al., 1992) ou l'écran immersif (e.g Hyve-3D) (Dorta et al., 2016) couplés à des dispositifs de captation (*tracking*) permettant l'interaction. Concernant la RA, le HMD, le SDAR ou écran augmenté (*Smart Device AR*, e.g via un *smartphone*) ou SAR (spatialized AR) couplés à des fonctionnalités de saisie de l'espace réel afin de pouvoir l'augmenter ensuite. Dans le cadre d'atelier de projet en école d'architecture, Milovanovic et al distinguent les différents dispositifs ayant été publiés et mis en œuvre pour des sessions de revue de projet:

> « We can distinguish six families of systems that were used for either design studio sessions: - HMD VR, for example the CAP VR system
> - Immersive screen based VR, like the HYVE-3D
> - Tangible AR, as illustrated by the Luminous Planning Table
> - HMD AR as proposed by the BenchWork system
> -SDAR [276] (no example of SDAR use for design critiques were find in our survey)
> -SAR, as exemplified by the SARDE system » (Milovanovic et al., 2017, p. 15)[277]

Farzad Pour Rahimian et Rahinah Ibrahim résument ainsi la notion d'Interface-Utilisateur Tangible (IUT, *Tangible User Interface* ou TUI). :

> « Tangible user interfaces (TUIs) is an expression to represent a technology including digital information and physical objects to virtually mimic an absolute environment. Kim and Maher (2008) defined the characteristics of TUIs similar to what is defined earlier for the graspable user interfaces by Fitzmaurice, Ishii, and Buxton (1995). Both studies defined five fundamental properties for such systems as: space-multiplex for input and output systems, simultaneous control and manipulation of all components in the interface, high technology tools, spatially responsive digital tools, and 3D re-configurability of the tools » (Rahimian and Ibrahim, 2011, p. 258) [278]

Une IUT se caractérise par une haute technologie, le multiplex d'entrée et de sortie de données, le contrôle et la manipulation simultanés de tous les composants de l'interface, la spatialisation des éléments et la modularité ou des éléments reconfigurables. La partie « manuelle » de cette TUI est dite haptique:

> « the term 'haptic' relates to the sense of touch. In other words, this is a technology which unites the user to a digital system by simulating the sense of touch and applying force-feedback,

[276] Smart Device AR

[277] « Nous pouvons distinguer six familles de systèmes qui ont été utilisés pour l'une ou l'autre des sessions de studio de design :
- le casque de RV, par exemple le système CAP VR - VR à écran immersif, comme le HYVE-3D
- la RA Tangible, telle qu'illustrée par le tableau de planification la Table de Plans Lumineuse
- Le casque de RA tel que proposé par le système BenchWork
- le SDAR (aucun exemple d'utilisation de SDAR pour les critiques de conception n'a été trouvé dans notre enquête) et la SAR comme l'a fait le système SARDE. » Trad.Gouezou

[278] « interface utilisateur tangible (IUT) [tanible User Interface, TUI] est une expression qui représente une technologie regroupant des informations numériques et des objets physiques pour imiter virtuellement un environnement absolu. Kim et Maher (2008)[278] ont défini les caractéristiques des TUI sur la base de celles définies précédemment pour les interfaces utilisateur empoignables [*graspable user interfaces*] par Fitzmaurice, Ishii et Buxton (1995)[278]. Les deux études définissent cinq propriétés fondamentales pour des systèmes tels que : le multiplex pour les systèmes d'entrée et de sortie de données pour les interactions distantes, le contrôle et la manipulation simultanés de tous les composants de l'interface, les outils de haute technologie, les outils numériques localisés dans l'espace et la re-configurabilité des outils 3D de ces outils. » Trad.Gouezou

> vibrations, and motions to the user (Basque Research, 2007) » (Rahimian and Ibrahim, 2011, p. 258) [279]

Milovanovic et al désignent les études majeures concernant les dispositifs légers de RA (*Smart Device AR*) dédiés au bâtiment et particulièrement celles impliquant le BIM comme celles de (Moleta et al., 2014) et (Kaftan and Krakhofer, 2015) :

> « SDAR systems are suitable for on-site AR, and have potential for integrating information technology for building refurbishment [280,281 NDLR], building management and construction [282 NDLR] or future project's visualization [283,284 NDLR]. Linking BIM (Building Information Modeling) and AR is also a way for the actors of a design project to take advantage of an alternative way to represent technical data on a smart device, facilitating discussions between professionals and laymen [285,286 NDLR] » (Milovanovic et al., 2017, p. 8)[287]

Aux vues de ces considérations, il nous semble que la conjonction de l'approche de type RA, par l'effet de calque informationnel posé sur une réalité construite, avec les échanges entre professionnels, sûrement destinés à arbitrer des points de détail de conception, correspondent plus à un état avancé de la conception plutôt qu'à l'idéation. Pour cette dernière, nous supposerons que la RV en casque de RV correspondrait mieux à la situation solitaire du concepteur d'architecture lors des premières phases créatives. Dans ces conditions, il n'y a pas d'échanges interpersonnels à soutenir nécessitant des échanges tacites ou subtiles via des expressions faciales, il n'y a pas de couche sémantique à superposer, ni projet suffisamment avancé pur justifier une revue de projet collective.

---

279 « le terme " haptique " fait référence au sens du toucher. En d'autres termes, il s'agit d'une technologie qui unit l'utilisateur à un système numérique en simulant le sens du toucher et en appliquant un retour de force, des vibrations et des mouvements à l'utilisateur (Basque Research, 2007). » Trad.Gouezou
280 (Donath, 2001)
281 (Sato et al., 2016)
282 (Park and Choi, 2004)
283 (Moloney, 2007)
284 (Hii Jun Chung et al., 2009)
285 (Moleta et al., 2014)
286 (Kaftan and Krakhofer, 2015)
287 « Les systèmes SDAR conviennent à la RA sur site et ont le potentiel d'intégrer la technologie de l'information pour la remise en état des bâtiments, la gestion et la construction des bâtiments ou la visualisation des projets futurs. Lier le BIM (Building Information Modeling) et la RA est aussi un moyen pour les acteurs d'un projet de conception de tirer parti d'une manière alternative de représenter les données techniques sur un dispositif intelligent, facilitant ainsi les discussions entre professionnels et profanes. » Trad.Gouezou

2.4. Dessin spatialisé et informatisé

2.4.1. Dessin spatialisé en EV

De nombreuses recherches sur le dessin spatialisé visent sa traduction en géométrie. Ce fait nous a conduit à dissocier ces recherches et à les passer en revue dans la section suivante. Afin de clarifier cette notion de dessin spatialisé, nous proposons de le définir comme un système de dessin produisant des traits dont chaque point dispose de ses propres coordonnées en x, y et z. Nous le distinguons donc de la notion de dessin 3D, souvent coplanaire sur écran tactile puis interprété en 3D. Selon Karl Willis et son équipe (2010), Pablo Picasso peut être considéré comme un pionnier du dessin spatialisé (non informatisé). Ils relatent une séance de dessin à l'ampoule électrique saisie avec un long temps d'exposition par le photographe Gjon Mili en 1949 pour le magazine *LIFE* :

> « One of the earliest examples of sketching in physical space can be found in a series of long exposure photographs of Pablo Picasso drawing with a light bulb. Taken by Gjon Mili for Life Magazine in 1949, they capture the physicality of the sketch process remarkably well as Picasso navigates his way through the space around him. These photographs hint at the potential for extending computer based sketch interactions into physical space » (Willis et al., 2010, p. 2) [288]

On doit à Ivan Sutherland les prémices de représentation graphique via un casque de réalité virtuelle. Son démonstrateur de casque de visualisation tri-dimensionnel (*Head-mounted three-dimensional display,* HMD) *Sword of Damocles* a recours aux ultrasons pour « tracker » le casque et le positionner dans l'espace. Superposant des formes géométriques par transparence (en recalculant la perspective selon la position du casque), ce dispositif HMD préfigurerait la réalité augmentée, mais ne permet pas de dessiner en 3D. Une première approche de modélisation en RV de Jeff Butterworth et al (1992), 3DM, est déployé dans un casque associant des techniques de CAO et un programme de dessin. Les prémices de cette approche remonteraient au *videoplace* de Krueger, pionnier des IHM, désireux d'impliquer le corps pour interagir avec les machines[289]. *Videoplace* mettait en relation deux agents distants via la plateforme préfigurant l'idée de virtualité et de collaboration distante :

> «Interaction techniques for sketching in physical space begin with the 'Digital Drawing' module of Myron Krueger's Videoplace, developed from 1973 onwards. The Videoplace participant is situated in front of a screen that displays their silhouette, and computer vision techniques are used to locate their fingertip and draw a twodimensional line following its movement in space. The result is an immediately comprehensible and natural style of embodied interaction. » (Willis et al., 2010, p. 2) [290]

[288] « L'un des premiers exemples de croquis dans l'espace physique peut être trouvé dans une série de photographies de Pablo Picasso à longue exposition dessinant avec une ampoule. Pris par Gjon Mili pour le magazine Life en 1949, ils capturent remarquablement la physicalité du processus de croquis alors que Picasso navigue dans l'espace autour de lui. Ces photographies font allusion à la possibilité d'étendre les interactions d'esquisse informatisées dans l'espace physique » Trad.Gouezou

[289] Dans cette veine, les autres travaux significatifs de Krueger seraient *Lowflow*, *Métaplay*, et *Psychic Space*.

[290] « Les techniques d'interaction pour l'esquisse dans l'espace physique commencent par le module " Digital Drawing " de Videoplace de Myron Krueger, développé à partir de 1973. Le participant de Videoplace est situé devant un écran qui affiche sa silhouette, et des techniques de vision par ordinateur sont utilisées pour localiser son

Sur la base du dessin 2D tracké *Digital Drawing*, les participants dessinent avec leurs doigts des lignes en 2D, ce qui ne constitue pas encore du dessin spatialisé. Une autre proposition de Emanuel Sachs, Andrew Roberts et David Stoops (1991), 3-Draw , repose sur un stylo « tracké » en 3D permettant le dessin spatialisé appréhendable en 2D par le biais d'un écran-moniteur (Sachs et al., 1991). Entre Arts et Sciences, la recherche de Brenda Laurel et Rachel Morgan Strickland (1994) nommée *Placeholder*, dispositif artistique réunissant deux participants dotés de casque de RV et se déplaçant dans divers espaces en laissant des traits ou indices visuels pour l'autre agent, avec lequel il est aussi possible de communiquer verbalement grâce à un microphone intégré (Laurel and Strickland, 1994). Peter Schröder, Michael Pruett et Steven Schkolne[291] (2001) proposent une approche de dessin 3D par surface parfois qualifiée aujourd'hui de « ruban » qui donne de meilleures courbes et plus de consistance au trait dans leur étude nommée *Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible tools* (Schröder et al., 2001a). Cette recherche est pionnière dans ce domaine du dessin spatialisé. Associé à cette recherche, l'artiste Steven Schkolne (2002) a produit un autre article complémentaire particulièrement utile pour recueillir le retour d'expérience du point de vue de l'utilisateur-artiste dans son article « *Drawing with the hand in free space* ». Nous avons relevé l'emphase faite sur les conséquences de l'implication physique propre au dessin spatialisé :

> « It is this enriched understanding of structure that holds the greatest potential for this method. In this medium, spatial comprehension grows naturally as the constructive space is marked. Elements are easily placed and relations develop among the marks. This constructive process is not predetermined but proceeds in a loose and fluid manner, letting ideas grow. This physical basis for abstract thought is a perceptual tool that enables conception. » (Schkolne, 2002, p. 373) [292]

Sa recherche de liberté d'expression paraît comblée par la physicalité primaire, naturelle, du dessin spatialisé, laissant augurer un potentiel pour la conception. L'artiste Schkolne considère qu'il a trouvé un *medium* offrant une liberté et une expressivité que nous pourrions comparer au dessin à la main :

> « The objects in this series exemplify the freedom that I have been seeking in three dimensions the freedom that I have been seeking in three dimensions […] in a bodily space with which the artist relates directly during construction and that interacts with the 3D viewer's body » (Schkolne, 2002, p. 374) [293]

doigt et dessiner une ligne bidimensionnelle suivant son mouvement dans l'espace. Le résultat est un style immédiatement compréhensible et naturel d'interaction incarnée » Trad.Gouezou

[291] (Schröder et al., 2001a)

[292] « C'est cette compréhension enrichie de la structure qui recèle le plus grand potentiel pour cette méthode. Dans ce médium, la compréhension de l'espace se développe naturellement au fur et à mesure que l'espace constructif est marqué. Les éléments sont faciles à placer et les relations se développent entre les marques. Ce processus constructif n'est pas prédéterminé, mais il se déroule de manière souple et fluide, laissant croitre les idées. Cette base physique de la pensée abstraite est un outil perceptuel qui permet la conception. » Trad.Gouezou

[293] « Les objets de cette série illustrent la liberté que j'ai recherchée en trois dimensions, la liberté que j'ai recherchée en trois dimensions, dans un espace corporel avec lequel l'artiste est en relation directe pendant la construction et qui interagit avec le corps du spectateur en 3D.» Trad.Gouezou

L'absence de support inhérente au dessin spatialisé pose questions. Elena Wiese et al (2010) ont étudié les processus cognitifs et sensori-moteurs durant le dessin spatialisé en RV dit immersif (*immersive sketching*) (Wiese et al., 2010) :

> « The results of this study revealed an improving accuracy and uniformity of sketched objects over time. This provides strong evidence for the hypothesis that user's sensorimotor skills for immersive sketching improve rapidly over time. This is an important finding, regarding the fact that sensorimotor constraints are often mentioned as disturbing factors in user surveys where experience with the system could only be gained in one test trial» (Wiese et al., 2010, p. 9) [294]

Wiese et al démontrent que l'apprentissage du dessin spatialisé en RV est rapide, l'étude faisant apparaitre l'impression de spontanéité et de liberté d'expression de ce précurseur du dessin spatialisé. Ceci corrobore les déclarations de l'artiste (Schkolne, 2002) considérant l'immédiateté et la physicalité de *Surface Drawing* (Schröder et al., 2001a). Les recherches de Julie Dorsey telles qu'elles ont abouties au *Mental Canvas* constituent pourtant une piste pertinente pour le domaine architectural dont un paradoxe important est que les documents qu'elle produit en 2D sont destinées à déterminer un objet construit en 3D. Julie Dorsey et son équipe ont présenté en 2007 l'article inaugural puis le démonstrateur en 2014 de leur projet *Mental Canvas*[295], démonstrateur issu de ses recherches sur les dessins spatialisés (Dorsey and McMillan, 1998). Plus précisément, *Mental Canvas* vise à spatialiser des pans de dessins 2D. *Mental Canvas* semble s'adresser plutôt à la production de contenu d'animation. Pour autant, il convient de le dissocier du dessin spatialisé directement en 3D (e.g. *Tilt Brush*®). Nous dissocions nos recherches des approches de dessin exécutés d'abord en 2D avant leur spatialisation. Un autre exemple de dessin d'esquisse spatialisé lié à la 2D est orienté pour la fabrication assistée par ordinateur (FAO) : il s'agit des recherches de Karl Willis, Juncong Lin, Takeo Igarashi et Jun Mitani intitulées *Spatial Sketch: Bridging Between Movement & Fabrication* (Willis et al., 2010). Les mouvements exécutés en 3D à l'aide d'un contrôleur wiimote® sont restitués sur un écran passif grand format. Une phase d'interprétation est nécessaire pour discerner les profils exploitables pour la FAO. L'emploi de contrôleur manuel et de capteur et la station verticale laissant libres les mouvements sont remarquables. Jérémy Laviole a présenté un article avec démonstrateur PapARt (Laviole and Hachet, 2012) un dispositif de sketching en RA ou en SAR (*Spatialized Augmented Reality*). Ce travail préfigurait son travail de thèse dédiée au dessin assisté par une projection interactive (Laviole, 2013) basé sur le *tracking* via une Kinect de la feuille support du dessin physique sur laquelle est projetée la projection d'un modèle 3D en tant que support d'aide au dessin, par exemple pour les apprentis dessinateurs. *Paintlab*[296] est un outil de dessin spatialisé développé par Bart

[294] « Les résultats de cette étude ont révélé une amélioration de la précision et de l'uniformité des objets esquissés au fil du temps. Cela confirme l'hypothèse selon laquelle les compétences sensori-motrices des utilisateurs en matière d'esquisses immersives s'améliorent rapidement avec le temps. Il s'agit là d'une constatation importante, compte tenu du fait que les contraintes sensorimotrices sont souvent mentionnées comme des facteurs perturbateurs dans les enquêtes auprès des utilisateurs où l'expérience du système n'a pu être acquise que dans un seul essai.» trad.Gouezou

[295] https://www.mentalcanvas.com/

[296] http://paintlabvr.com/

Burkhardt en 2016 dédié aux artistes « grapheurs » qui présente une grande expressivité graphique. Son développement en EV incite à une mise en trois dimensions de « graphs » habituellement muraux, il peuvent donc être spatialisés en EV, partagés voire donner lieu à une collaboration. Un autre projet nommé *Hyve-3D* émanant de l'équipe Hybridlab de Tomas Dorta a retenu notre attention tant il semble réunir d'avantages. L'interaction avec la scène non-stéréographique dans laquelle on est immergé (dans un cave hémisphérique portatif) se fait via une tablette permettant de se déplacer, de placer un plan de dessin accueillant le croquis qui y sera exécuté. Evoquant la relation naturelle pour les architectes entre un modèle 3D et ses projections géométrales (e.g. plan, coupe, élévations), *Hyve-3D* se présente ainsi :

> «This article presents Hyve-3D and the 3D cursor as a natural and interaction model to provide design freedom during the first steps of architectural co-design. This new interaction is implemented in a nonintrusive immersive anamorphic projection system, based on spherical panoramas. In Hyve-3D, the notion of the 3D cursor is proposed as 2D construction and control planes that build 3D sketches and transform 3D models. Each user can move their 3D cursor intuitively by manipulating tablets. Once the cursor is in place, the user can create freehand sketches, which are then transformed onto a virtual 3D plane. The tablets display complementary orthogonal views of the 3D scene, to the perspective immersive view surrounding the users. Users can see orthogonal views from any direction by moving and rotating the tablet freely in the air. Multiple users controlling individual 3D cursors can generate 3D sketches and manipulate/transform imported 3D models collaboratively. » (Dorta et al., 2016, p. 2) [297]

Milovanovic et son équipe ont intégré Hyve-3D dans un dispositif collaboratif incluant son couplage avec une table tactile dans le cadre de leur projet de démonstrateur CORAULIS. Le dessin se déploie surtout en 2D sur cette table tactile mais les fonctionnalités de dessin spatialisés de HYVE-3D sont explicités, notamment l'intégration de la promenade (*walktrough*) en 3D avec le dessin en 2D sur tablette dont le gyroscope et l'accéléromètre et permettent de placer ces dessins dans l'espace, ce qui rappelle le projet *Mental Canvas* de Julie Dorsey (Dorsey, 2007) car ce sont les dessins achevés qui sont spatialisés, et non pas le trait:

> « The Hyve-3D offers the possibility to draw directly in the VE displayed on the 360° screen, using an Ipad which also serves as an interface for navigation like walkthroughs and diverse interactions with the VE. It acts as an immersive working space for designers who can sketch with a natural designer's tool to design in a digital environment. The fluidity between sketching

[297] « Cet article présente Hyve-3D et 3D-cursor en tant que modèle naturel et interactif procurant de la liberté aux concepteurs lors des premières étapes de la co-conception architecturale. Cette nouvelle interaction est implémentée dans un système de projection anamorphique immersif et non intrusif, basé sur des panoramas sphériques. Dans Hyve-3D, la notion du 3D-cursor est proposé en tant que construction 2D et plans de contrôle qui construisent des esquisses 3D et transforment les modélisations 3D. Chaque utilisateur peut déplacer son 3D-cursor de manière intuitive en manipulant des tablettes. Une fois le curseur en place, l'utilisateur peut créer des croquis à main levée, qui sont ensuite transformés sur un plan 3D virtuel. Les tablettes affichent des vues orthogonales complémentaires à la scène 3D à la vue immersive en perspective entourant les utilisateurs. Les utilisateurs peuvent obtenir des vues orthogonales de n'importe quelle direction en déplaçant et pivotant la tablette librement en l'air. Plusieurs utilisateurs contrôlant des 3D-cursor individuels peuvent générer des esquisses 3D et manipuler ou transformer des modèles 3D importés en collaboration.» Trad.Gouezou

and digital visualization enhances the user's design flow, and consequently the quality of the design outcome » (Milovanovic et al., 2017, p. 6) [298]

Affilié à d'autres approches basées sur le même principe de spatialisation de dessin 2D dit *plane-based 3d sketching* (e.g., *Sketchbox* de Martijn Stellingwerff, Napkin Sketch de Xin et al., Moderato de Jitsuro Mase, *InSitu* ou *Mental Canvas* de julie Dorsey et al.), *Hyve-3D* semble particulièrement abouti, notamment pour la co-conception et la revue de projet. Préfigurant le HYVE-3D, Dorta présentait les fonctionnalités de son *HIS (Hybrid Ideation Space)* visait à combler un manque entre l'informatique et les outils d'idéation :

« The HIS maintains the intuitiveness and ambiguity needed to generate ideas. It allows users to sketch and make models all around them in real time and in scale using a digital tablet and an immersive projection device. The HIS adds to traditional sketch and models the advantages of a virtual environment, which provides a sense of immersion and presence » (Dorta, 2008, p. 122)[299].

Cette recherche semble constituer une avancée majeure du dessin en mixant les qualités du dessin traditionnel en 2D avec les nouveaux atouts du dessin spatialisé. Les limitations (e.g. le champ de vision restreint du casque de RA Hololens® ou l'assignation du dispositif de tracking au laboratoire) ne retirent rien à ce démonstrateur qui parvient à allier la dimension dialectique et critique du dessin 2D au dessin spatialisé produisant pratiquement une modélisation en 3D.

2.4.2. Dessin spatialisé pour la modélisation 3D

Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon et John F. Hughes avec *SKETCH*[300] ou Takeo Igarashi avec *Teddy* (Igarashi et al., 1999) ont travaillé sur des interfaces d'esquisse permettant de concevoir des scènes 3D en interprétant des formes 2D en géométries ; ce dernier permettant de dessiner ou de colorier directement sur les surfaces générées. Jurgen P. Schulze, Catherine E. Hughes, Lelin Zhang, Eve Edelstein et Eduardo Macagno (2003) proposent aux architectes un outil de dessin, *CAVECAD* (Schulze et al., 2013), qui permet la création, la modification et l'habillage graphique de formes géométriques. Ils se sont focalisés sur l'association de la RV à la modélisation 3D simple. *CAVECAD* représente une solution alternative d'affichage de contenu 3D grâce aux « librairies graphiques ouvertes » OpenGL dans un affichage réalité virtuelle, qui nous concerne car nous devrons faire coïncider du contenu informatique classique issu d'une démarche normale de conception architecturale, par exemple BIM, avec la possibilité

[298] « Le Hyve-3D offre la possibilité de dessiner directement dans l'EV affiché sur l'écran à 360°, en utilisant un Ipad qui sert également d'interface pour la navigation, comme les visites guidées et diverses interactions avec le VE. Il s'agit d'un espace de travail immersif pour les designers qui peuvent dessiner à l'aide d'un outil de design naturel dans un environnement numérique. La fluidité entre l'esquisse et la visualisation numérique améliore le flux de conception de l'utilisateur et, par conséquent, la qualité du résultat de conception . » trad.Gouezou

[299] « Le SIS maintient l'intuitivité et l'ambiguïté nécessaires pour générer des idées. Il permet aux utilisateurs de dessiner et de réaliser des maquettes tout autour d'eux en temps réel et à l'échelle en utilisant une tablette numérique et un dispositif de projection immersive. Le HIS ajoute au croquis traditionnel et modélise les avantages d'un environnement virtuel, qui procure un sentiment d'immersion et de présence. » Trad.Gouezou

[300] (Zeleznik et al., 1996) Trad.Gouezou

d'utiliser ce contenu dans un contexte « immersif » en réalité virtuelle, qui plus est en offrant la possibilité d'interagir graphiquement avec ce contenu :

> « except when run through TechViz or Mechdyne's Conduit, which intercept their OpenGL calls and distribute them to a visualization cluster, while managing the camera independently from the desktop tool. But even in this combination, they do not allow 3D interaction with the geometry while in the VR environment, except when specific hooks are put in the desktop application to accept input from the VR system, which is rarely done » (Schulze et al., 2013, p. 2) [301]

La société TECHVIZ® est l'une des deux seules au monde capables de capter et d'exploiter les signaux OpenGL pour en afficher le contenu provenant de différents logiciels de CAO, (e.g. CATIA®, REVIT® etc.), elle avait proposé, lors du salon SIGGRAPH'17 à Los Angeles une *Booth review*[302], une cabine à revue de projet en temps réel accueillant plusieurs collaborateurs dans le *CAVE*. Nous ne savons pas si des fonctionnalités de dessin y sont proposées. Nous avons pu aborder ce sujet directement avec TECHVIZ lors du salon BIM world qui s'est tenu à la Défense, à Paris, en 2016. Leur logiciel TECHVIZ XL® permet d'afficher les signaux OpenGL mais il restait clair que les modifications de géométries devaient être faites sur le logiciel-natif. En outre, précisions que de nouvelles normes Vulkan remplaceront l'OpenGL dans l'objectif de mieux exploiter, à un plus « bas niveau », les grandes capacités des GPU en réduisant la dépendance GPU/CPU[303]. Schulze et son équipe [304] proposent dans *CAVECAD* une interface de modélisation géométrique en immersion dans un *CAVE*, en réalité virtuelle. Outre le manque de certaines fonctionnalités, comme le *undo*/*redo*, le *tracking* d'une deuxième main et autres, c'est surtout la rupture avec les outils de modélisation 3D usuels (e.g. Sketchup®, 3DsMax®, Maya®, etc.), qui pose problème. Nous retenons ici le souci de s'inscrire dans le flux de travail classique des architectes et par une volonté de doter *CAVECAD* d'une plus grande compatibilité avec les formats propres aux logiciels qu'utilisent les architectes. D'autres approches de modélisation en 3D sont dites « *Clay Like sculpting and modeling* » de dessin 3D par interprétations gestuelles, soit des approches consistant à aborder « négativement » la fabrication de géométries par retrait de formes, excavation d'un volume virtuel évoquant un bloc d'argile. Les recherches aboutissant au démonstrateur *Digital foam*(Smith et al., 2008) de Ross T. Smith, Bruce H. Thomas et Wayne Piekarski sont emblématiques de cette approche dite « *clay like sculpting and modeling* ». D'autres recherches des approches de dessin en vraie grandeur dite « *tape drawing technic* » sont inspirées des

[301] « Sauf lorsqu'ils sont exécutés via les techniques de TechViz ou Mechdyn, qui interceptent leurs signaux OpenGL et les distribuent à un cluster de visualisation, tout en gérant la caméra indépendamment de l'outil de bureau. Mais même dans cette combinaison, ils n'autorisent pas l'interaction 3D avec la géométrie dans l'environnement RV, sauf lorsque des éléments spécifiques sont placés dans l'application de bureau pour accepter l'entrée du système RV, ce qui est rarement fait » Trad.Gouezou

[302] Voir http://www.techviz.net/siggraph-2017 et https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6289112988406280192/

[303] Graphics Processing Unit, soit la carte graphique d'un ordinateur, et Central Processing Unit, soit le processeur central de cet ordinateur.

[304] Schulze, J. P., Hughes, C. E., Zhang, L., Edelstein, E., & Macagno, E. (2014, February). CaveCAD: a tool for architectural design in immersive virtual environments. In IS&T/SPIE Electronic Imaging (pp. 901208-901208). International Society for Optics and Photonics.

techniques utilisées jadis en industrie automobile, consistant à exécuter une épure en vraie grandeur pour déterminer une courbe avec une bande de scotch qui guidera ensuite le crayon. Les recherches « *Digital Tape drawing system* » (Buxton et al., 2002) de Bill Buxton, Tovi Grossman, Ravin Balakrishna, Gordon Kurtenbach, George Fitzmaurice et Azam Khan sont emblématiques de cette approche. Elles consistent à dessiner sur un support 2D des courbes destinées à la 3D pour les besoins de l'industrie automobile, par exemple. Cette technique fait écho aux documents emblématiques de l'architecte, les plans, coupes et élévations, rabattant en 2D, selon le principe de projection géométrale, les spécificités d'un objet projeté :

> « We retain the interaction style of the traditional tape drawing technique for creating curves. This allows for smoothly varying, continuous 2D curves to be created easily at this scale, and within a single tool . The 2D tape drawings can only be performed from the three canonical orthogonal viewpoints – side, top, and front. However, rather than creating these in separate 2D views as is traditionally done, the 2D drawing planes are spatially integrated into a 3D working volume » (Buxton et al., 2002, p. 2) [305]

Les autres aspects de cette recherche, notamment la création de courbes 3D via leur « ombre » géométrale est remarquable mais sans doute plus adaptée à l'industrie automobile et au design qu'à l'architecture, car la symétries serait moins usitée en architecture. Une autre recherche de Daniel F. Keefe, Robert C. Zeleznik et David H. Laidlaw (Keefe et al., 2007) propose, à l'aide d'un système haptique, de dessiner des courbes « dans l'air » selon deux techniques distinctes : soit le dessin par ruban à deux mains (*two-handed tape drawing*), ou le dessin à une main avec point d'inflexion (*one-handed drag drawing*). Ce travail fut prolongé en 2016 par Keefe et Bret Jackson, du Macalester College de l'université du Minnesota, dans leur projet de recherche *Lift-Off* (Keefe and Jackson, 2016), mixant des techniques de dessin de courbes planes sur les murs tirées et positionnées ensuite dans l'espace selon un objectif géométrique donné.

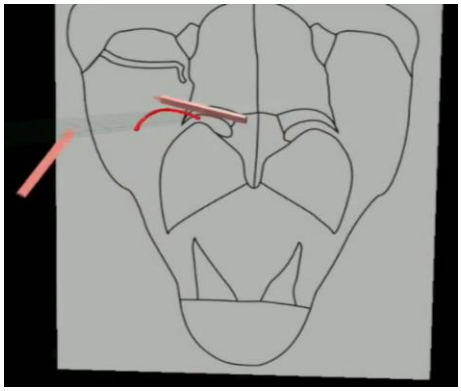


Figure 11 Lift-Off : spatialisation de courbe dessinée avec deux contrôleurs sur support plan. Crédit photo Keefe & Jackson

[305] « Nous retenons le style d'interaction de la technique de dessin sur scotch traditionnelle pour dessiner des courbes. Ceci autorise pour de petites variations, des courbes 2D continues d'être crées facilement à cette échelle, et dans un seul outil. Les dessins 2D faits au scotch peuvent seulement être exécutés des trois points de vue orthogonaux canoniques- de côté, en plan et de front. De toutes façons, plutôt que de les créer dans des vues 2D séparées comme c'est le cas traditionnellement, les plans de dessin 2D sont spatialement intégrés dans un volume de travail 3D » Trad.Gouezou

Evoquant la technique du dessin par ruban, l'originalité de *Lift off* évoque le recours de l'architecture aux projections géométrales dont la précision est complétée par une « remise en volume ». *Lift-Off* vise plus le contrôle des courbes entre la 2D et la 3D que l'expressivité graphique. L'équipe de Karan Singh du laboratoire DGP, de l'université de Toronto, est à l'origine d'excellentes recherches comme *True2form* (Singh et al., 2014) qui porte sur l'interprétation en 3d de *sketching* 2D. Le projet *Storeoboard* (Singh et al., 2016) propose une interface de *sketching* dont la structuration multicalques permet de mettre suffisamment en volume les dessins pour en avoir une perception stéréoscopique. On constate que les recherches menées sur le dessin libre traité informatiquement pour des domaines de conception amènent souvent à l'objectif de modélisation géométrique. Même sans correspondance absolue avec notre recherche, ces avancées devaient être abordées et présentées car elles constituent une piste de recherche majeure. Affilié à Singh, Tovi Grossman et son équipe ont mené *DreamSketch*, une étude doublée d'un démonstrateur consistant à porter l'esquisse à la main dans un système de dessin génératif qui, grâce à son algorithme, permet, sur la base d'un dessin d'esquisse, de versionner différentes solutions de conception au travers d'un faisceau de contraintes données :

> « Dreamsketch [is] a design interface that combines the free-form and expressive qualities of sketching with the computational power of generative design algorithms. In DreamSketch, a user coarsely defines the problem by sketching the design context. Then, a generative design algorithm produces multiple solutions that are augmented as 3D objects in the sketched context. […]. The combination of sketching and generative algorithms enables designers to explore multiple ideas and make better informed design decisions during the early stages of design. » (Grossman et al., 2017a, p. 1)[306]



Figure 12 Dreamsketch. Crédit photo Autodesk

L'intégration de la notion d'ambigüité par des moyens informatisés constitue un verrou scientifique et technique majeur. Le sujet du design génératif constitue un graal en soi : Autodesk, par exemple, est en pointe sur le sujet en proposant une solution alliant une version

[306] « DreamSketch [est] une nouvelle interface de conception en 3D qui combine la liberté formelle du dessin d'esquisse avec la puissance computationnelle d'algorithmes de design génératif. La combinaison du dessin d'esquisse et d'algorithmes génératifs permet au concepteur d'explorer de multiples idées et de prendre des décisions de conceptions mieux informées lors des premiers stades de la conception. » Trad.Gouezou

standalone de Dynamo® [307], Dynamo Studio® , en lien avec la version béta de son logiciel de design génératif, *Project Fractal*® dont l'algorithme générant diverses solutions de conception selon des choix de contraintes et de paramètres. Ici, le fait que le dessin d'esquisse soit impliqué nous intéresse au plus haut point. Plus, loin, Grossman et al apportent des précisions:

> « Our work aims to accommodate the freeform qualities of traditional media (pencil and paper) with generative design technologies – by supporting ambiguities with design variables, incompleteness with proxy geometries, and the expressive aspects of drawings with juxtaposing strokes and meshes in a hybrid medium » (Grossman et al., 2017a, p. 10) [308]

Un objet proxy serait un objet qui en prend un autre objet comme référence, en tant que paramètre, et qui devient un de ses attributs, ou encore une méthode de création. Ainsi, un « *design pattern* » tel « *adapter* » peut prendre différents objets en entrée en leur appliquant le même processus de transformation. Ainsi, dans le cas de *DreamSketch*, ces entrées peuvent être remplacées par des traits à la main qui subiront ensuite un même processus de transformation géométrique (e.g. maillage, extrusion, etc.) avec la possibilité d'intégrer les traits correctifs ultérieurs. La pertinence et la sophistication de ces travaux forcent notre admiration, nous qui ne disposons pas de tels compétences. Dans le registre plus éloigné encore de l'intelligence artificielle, nous signalons la récente thèse de Master en sciences de l'architecture de Ranjeeth Mahankali, *Master Assessing the Potential Applications of Deep Learning in Design,* à l'université de Washington, visant l'intégration du *Deep learning* aux tâches de conception architecturale. Nous mentionnons ce travail pour montrer que les architectes envisagent le recours à l'IA pour déléguer certaines tâches de conception impossible à mathématiser et nécessitant un apprentissage automatique. Une équipe associant, Singh à Grossman a mené une étude intitulée « *Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR* » :

> «sketching tools enable artists and designers to dive in and create in free space without any constraints. While this offers immense freedom and expressiveness, our observations indicate that sketching precise curves for design tasks in VR is very challenging. Our paper quantitatively explores multiple factors affecting the imprecision in 3D sketching in VR, including scale, lack of physical surface, orientation, and planarity. We hope that this understanding would lay out the foundation for building tools to equip designers with the desired precision and controls. » (Grossman et al., 2017b, p. 10) [309]

[307] Equivalent du *plugin* leader Grasshopper©, associé au modeleur 3D Rhinoceros©, de chez *McNeel*.

[308] « Notre travail consiste à accommoder les qualités d'expression libre de medias traditionnels (crayon et papier) avec les technologies de *design* génératif –en supportant les ambiguïtés avec les variables de conception, l'incomplétude grâce aux géométries proxy, et l'aspect expressif des dessins juxtaposant les traits à la main et les mailles 3D en un medium hybride » Trad.Gouezou

[309] « En supprimant la platitude du papier, les outils d'esquisse en RV ont permis aux artistes et concepteurs de plonger et de créer dans un espace sans contraintes. Bien que cela procure une immense liberté et expressivité, nos observations indiquent qu'esquisser des courbes [et cercles, NDLR] précises pour les tâches de conception en RV constitue un défi. Notre papier explore quantitativement de multiples facteurs affectant l'imprécision en esquisse 3D en RV, incluant l'échelle, le manque de surface-support physique, l'orientation, et la planéité. Nous espérons que cette compréhension posera les bases pour fonder des outils pour équiper les concepteurs la précision et le contrôle désirés. » Trad.Gouezou

Forte (Grossman et al., 2018a) de Tovi Grossman, Xiang Chen, Ye Tao, Stelian Coros et Scott E. Hudson présenté au colloque CHI2018 est une solution de design génératif basé sur un algorithme d'optimisation topographique interprétant des esquisses manuelles:

> « a sketch-based, real-time interactive tool for people to directly express and iterate on their designs via 2D topology optimization. Users can ask the system to add structures, provide a variation with better performance, or optimize internal material layouts. » (Grossman et al., 2018a, p. 1) [310]

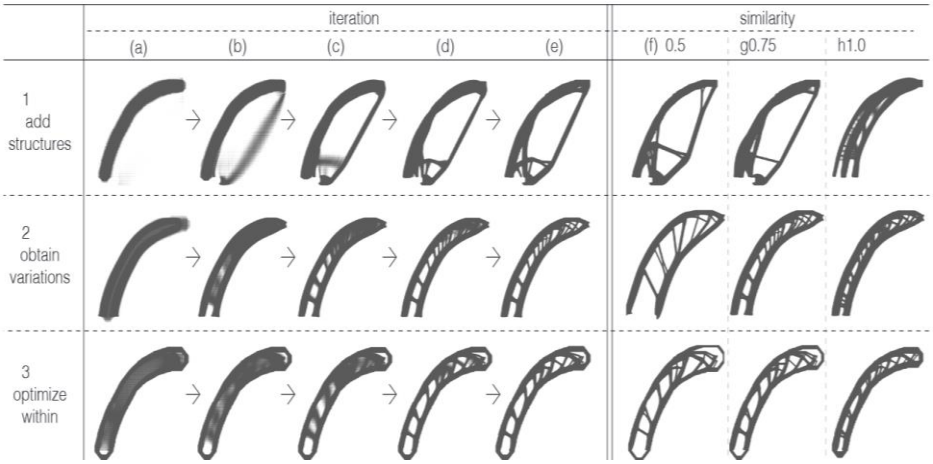


Figure 13 Démonstrateur de *Forte* : variantes de structures générées automatiquement. Droits photo Autodesk

Bien qu'elle soit remarquable en s'attaquant au « graal » du design génératif via le dessin d'esquisse, nous ne visons pas la modélisation géométrique mais le dessin expressif. Associé à Karan Singh, Tovi Grossman a mené une autre équipe auteure de SymbiosisSketch:

> « SymbiosisSketch, a hybrid sketching system that combines drawing in air (3D) and on a drawing surface (2D) to create detailed 3D designs of arbitrary scale in an augmented reality (AR) setting. SymbiosisSketch leverages the complementary affordances of 3D (immersive, unconstrained, life-sized) and 2D (precise, constrained, ergonomic) interactions for in situ 3D conceptual design » (Grossman et al., 2018b) [311]

Ces recherches semblent indiquer une tendance à l'accélération du processus de conception créative jusqu'à un stade relativement avancé d'étude du projet. Le recours aux algorithmes rapproche le dessin d'esquisse des principes de la conception générative, et laisse augurer d'une étape ultérieure franchie lorsque, ne sachant pas la « mathématiser », une pile de dessins d'esquisses alimentera l'apprentissage des machines aux moyens de l'IA. Cette tendance correspond à une vision plus intégrative du dessin d'esquisse. Via le colloque *Immersive*

[310] « un outil interactif en temps réel basé sur des esquisses pour que les utilisateurs puissent directement exprimer et itérer leurs conceptions via l'optimisation de la topologie 2D. Les utilisateurs peuvent demander au système d'ajouter des structures, fournir une variation avec de meilleures performances ou optimiser la disposition des éléments internes. » Trad.Gouezou

[311] « Un système hybride de *sketching* combinant le dessin spatialisé (3D) et sur une surface de dessin (2D) pour créer des conceptions en 3D d'échelle arbitraire en contexte de réalité augmentée (RA). SymbiosisSketch augmente les affordances des interactions entre la 3D (immersive, non-contrainte, échelle réelle) et la 2D (précise, contrainte, ergonomique) pour la conception en 3D et in-situ. » Trad.Gouezou

Architecture 2019 Asia (Im-Arch19), nous avons identifié Johan Hanegraaf[312] qui est architecte spécialiste des outils de visualisation avancés pour le compte de l'agence Mecanoo. Il y a développé un logiciel, Archispace VR[313], utilisant *Unity3D®* adapté aux besoins par du code en C# et des modèles informatiques libres (*opensource frameworks*) sur du contenu 3D provenant de *Revit®* et *3dStudioMax®*. Bien que paraissant très performant et abouti, Archispace parait plus destiné à la modélisation géométrique et aux techniques de rendu graphique (Cf. illustration Figure 14), ce qui correspond moins à nos visées d'intégrer le dessin libre à la main. Toutefois, Archispace parait fonctionnel, rapide et intéressant du point de vue de la conception architecturale et suffisamment mature pour intégrer la routine d'agence de Mecanoo architects :

> « I started to develop a design application called ArchiSpace that we are currently testing at mecanoo. In this VR application I try to integrate architectural methods like sketching and model-making with today's computational tools. Spatial interaction with our digital content will become more natural with VR/AR, so I hope my application will inspire architects to see beyond the visual simulations and understand the future potential of this technology. » (Hanegraaf, 2017)[314]

Outre le souhait de promouvoir l'immersion en RV, son interview permet aussi de voir qu'il vise l'intégration des aspects BIM, pour rendre le BIM plus concret :

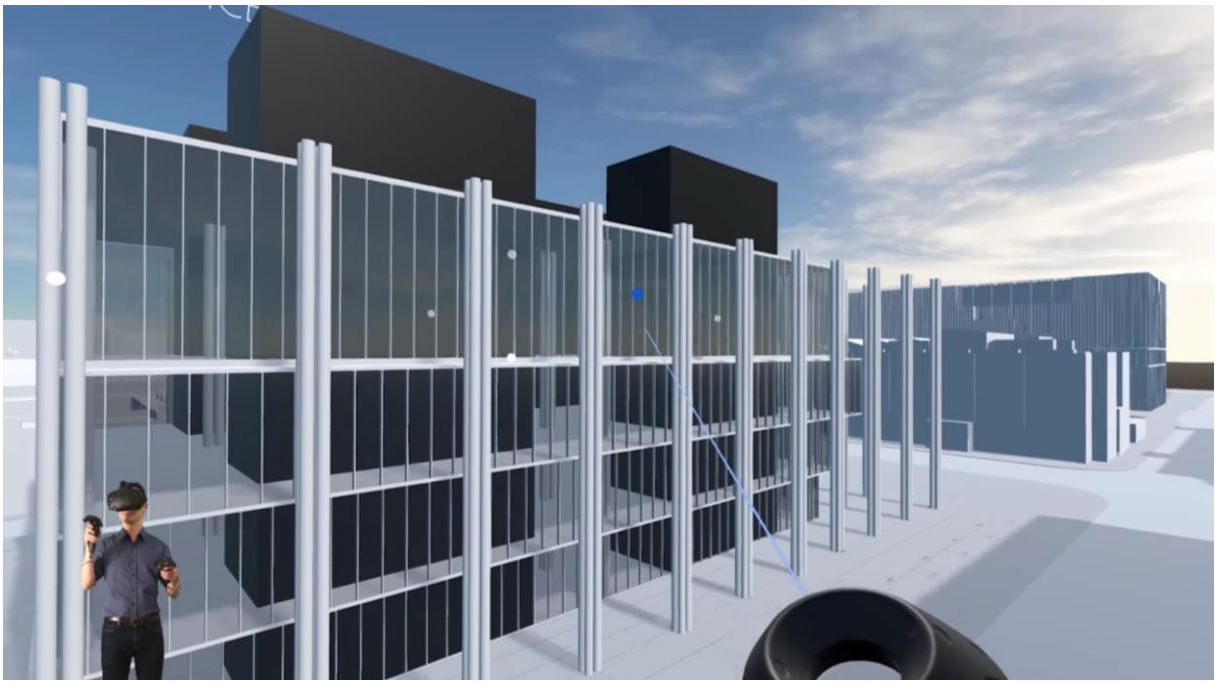


Figure 14 Session de modélisation 3D en RV sur Archispace VR de Hanegraaf. https://vimeo.com/215923200

[312] https://www.johanhanegraaf.nl/
[313] https://www.johanhanegraaf.nl/developing-virtual-reality-tool-architects/
[314] « J'ai commencé à développer une application de conception appelée ArchiSpace que nous testons actuellement chez mecanoo. Dans cette application VR, j'essaie d'intégrer des méthodes architecturales telles que l'esquisse et la modélisation aux outils de calcul actuels. L'interaction spatiale avec notre contenu numérique deviendra plus naturelle avec la VR et l'AR, alors j'espère que mon application inspirera les architectes à voir au-delà des simulations visuelles et à comprendre le potentiel futur de cette technologie. » Trad.Gouezou

« It's great to see that VR even helped our architects to embrace other technologies like building information modeling (BIM) in a more enthusiastic way. » (Hanegraaf, 2017) [315]

La dernière mise à jour n°2 en date du 18 mai 2018 d'Archispace[316] facilite l'importation de différents types de fichiers (OBJ, FBX) conservant le matériau qui sont convertis en matériaux standards via 3Dstudio Max - ce qui représente une contrainte - ou conservés en cas d'utilisation de l'exportateur OBJ pour Revit de Emanuel Favreau[317]. Hanegraaf annonce prévoir la prise en charge de format « BIMables » comme .3dm, l'IFC ou Rvt, le format natif de *Revit®*, mais il demande aussi - dans son blog - de l'aide pour le codage de ces tâches qui paraissent particulièrement complexes, et nous notons qu'il ne donne plus de nouvelles depuis lors. Outre ces fonctionnalités d'importation qui nous intéressent particulièrement, d'autres peuvent être rapidement mentionnées. La téléportation, les sections, les mesures, la simplification des mouvements et des interactions par rapport aux objets (copier-coller, homothétie, étirement, etc.), le texturage d'objets, le contrôle solaire et les cycles jour/nuit. [318] A comparer ces deux dernières illustrations, l'esquisse en dessin spatialisé sur *Tiltbrush®* de Siegrist évoque plus une esquisse *ex nihilo* qui aurait probablement gagné encore en acuité en se basant sur des éléments contextuels. Inversement, les modèles 3D exécutés par Hanegraaf sont rapidement exécutés sur *Archispace* qui parait remarquable de simplicité. Néanmoins, ils évoquent une modélisation habituellement obtenue via un logiciel de CAO ou CAO-BIM classique au point que l'on se demande si ce type de logiciel exploité sur un poste de travail *WIMP* [319] classique ne conviendrait pas mieux à ce type de travail : à quoi bon dupliquer en RV les logiciels usuels ? Nos hypothèses de travail considèrent plutôt le dessin spatialisé en lui-même, sans transformation spécifique et comme un moyen dialectique. Dans la section suivante, nous passons en revue des solutions commerciales de dessin spatialisé qui, pour la plupart, ne visent pas la modélisation 3D mais l'expressivité, considérant le dessin spatialisé pour lui-même.

2.4.3. Solutions commerciales de dessin spatialisé

Les logiciels commerciaux ne sont pas exempts de recherches et présentent un niveau de maturité envers les besoins des utilisateurs que l'on peut juger significatif. Ce qui suit montre que les fonctionnalités d'interprétation géométriques sont rares, traduisant une focalisation relativement nette autour du dessin spatialisé en soi. *Tilt Brush©* propose depuis fin 2015[320] une approche de dessin spatialisé par ruban évoquant les travaux de Schröder (Schröder et al., 2001a) avec l'adjonction d'effets interactifs aux traits produits (fumée, volcan, feu etc.) sans

[315] « L'industrie de l'architecture n'est pas connue pour son adoption rapide de la technologie, mais depuis que nous avons automatisé et facilité la plupart de nos outils internes de RV, ils sont rapidement devenus un outil amusant et bien utilisé dans les réunions de conception, les sessions d'utilisateurs et les événements promotionnels. C'est formidable de voir que la RV a même aidé nos architectes à adopter d'une manière plus enthousiaste d'autres technologies comme la modélisation des informations du bâtiment (BIM). » Trad.Gouezou
[316] https://www.archispacevr.com/
[317] http://www.emanuelfavreau.com/apps.php
[318] https://www.johanhanegraaf.nl/archispace-update-2/
[319] *Window Icon Mice Pointer* soit Fenêtre Icône Souris Pointeur
[320] La version finale date d'avril 2016

rapport avec la conception architecturale. Les fonctionnalités de dessin étendues, notamment celles du dessin de segment de droite, seraient performantes pour la conception architecturale.



Figure 15 Image promotionnelle de TiltBrush® de Google. Crédit photo Google

La symétrie et d'autres fonctionnalités de création et finition de géométries (Cf. Figure 9), conviendraient également à la conception architecturale.

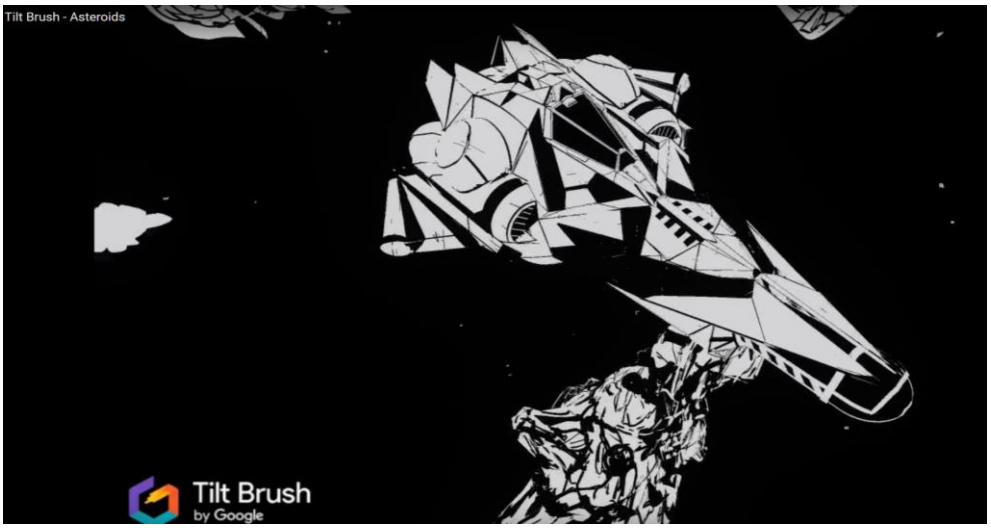


Figure 16 création *Asteroid*[321] d'Elizabeth Edwards sur Tilt Brush. Crédit photo Elizabeth Edwards®

D'autres fonctionnalités, telles la gomme, la mesure, le déplacement, la symétrie (Cf. Figure 17), les *undo* et *redo* paraissent pertinentes. *Tilt Brush*® propose des fonctionnalités de dessin, de déplacement et de modification utiles, ainsi qu'un module d'importation, e.g. au format .obj

[321] https://poly.google.com/view/fZTdpNufEMv

avec importation de matériaux, ce qui permettrait d'importer une scène 3D d'un contexte urbain et/ou architectural requis pour concevoir un projet d'architecture.

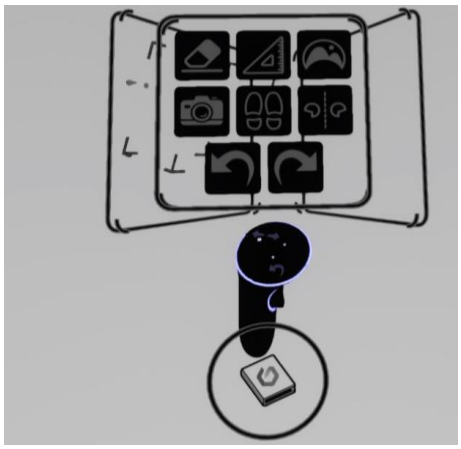


Figure 17 outils utiles de Tilt Brush® pour l'architecture: gomme, mesure, déplacement, symétrie, redo, undo

Outre l'outil *Tilt Brush®,* d'autres outils commerciaux de dessin spatialisé se sont imposés récemment. Citons *Quill®* (Cf.Figure 18) crée par Inigo Quilez pour Facebook[322] qui, même s'il semble plus tourné vers l'animation que vers la conception, présente des fonctionnalités intéressantes[323]. Ainsi, la sélection de groupe de traits, la duplication d'objets, l'animation, des systèmes de particules, et des outils de transformation. Ceux-ci consistent essentiellement en la translation, la rotation, l'échelle et la symétrie d'éléments qui peuvent appartenir à un groupe de sélection ou à un calque. En outre, *Quill®* permet un partage « sociaux » de scènes via Facebook® , où plusieurs utilisateurs pourraient interagir dans une même scène 3D animée.



Figure 18 extrait d'une création de Goro Fujita sur Quill® [324]. Crédit photo Goro Fujita®

Quill® performe pour l'animation mais convient moins à la conception architecturale. Par exemple, les possibilités d'importation sont faibles, limitées au format .obj sans possibilité

[322] Facebook ayant racheté Oculus en 2014 pour 2 milliards de dollars
[323] https://quill.fb.com/tutorials/
[324] https://quill.fb.com/userstories/beyond-the-fence

d'importer, jusqu'ici, les textures associées. Les tâches de conception architecturales nécessiteraient au moins l'importation d'un contexte, ou un début de projet, cette limitation est rédhibitoire. Citons aussi *Gravity Sketch*® [325] destiné aux professionnels et qui semble gère mieux le contrôle des géométries produites; l'ergonomie et la précision du contrôle des splines conviendraient particulièrement aux concepteurs, ainsi que les modalités de transformation des traits ou rubans en géométries (extrusion) avec une grande latitude de modifications des formes sculptées, principe baptisé *ribbon-like dual-controller sculpting process*.

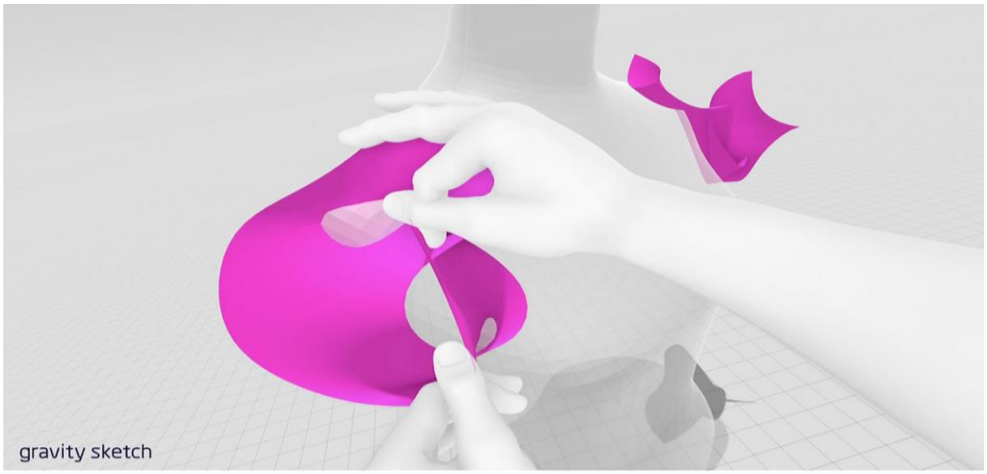


Figure 19 *ribbon-like dual-controller sculpting process*. Crédit photo Gravity sketch® [326]

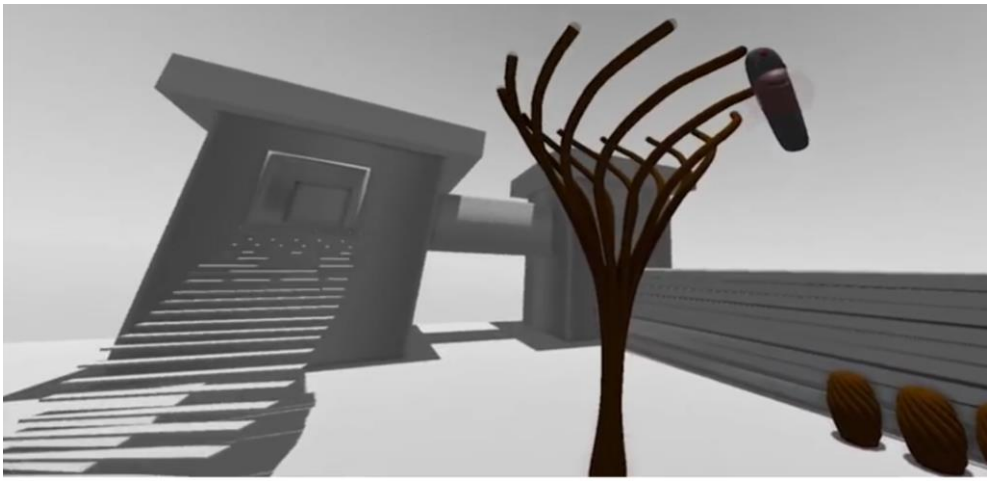


Figure 20 démonstration de copier-coller et de *form finding* sur Gravity sketch[327]. Crédit photo Gravity sketch®

Destiné originellement aux *designers* (e.g. chaussures, industrie automobile) recourant plus aux outils de symétrie, *Gravity Sketch*® semble toutefois particulièrement performant pour créer, éditer, modifier et copier-coller des géométries (Figure 20). Si ces aspects « géométriques » sont remarquables, nous insistons sur la dissociation entre le *sketching* spatialisé d'expression

[325] https://www.gravitysketch.com/
[326] https://www.digitalartsonline.co.uk/news/creative-software/gravity-sketch-is-first-pro-level-vr-app-for-artists/
[327] https://www.youtube.com/watch?v=KJWpHaYDi1g

que nous pourrons viser et la modélisation géométrique en RV. En outre, il semble mieux convenir au design industriel recourant à la symétrie, comme l'automobile ou les chaussures.

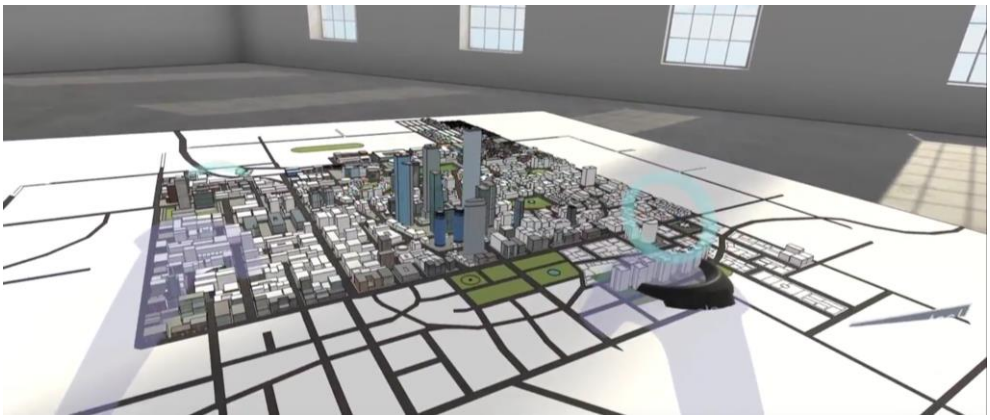


Figure 21 image promotionnelle de VRSketch portant SketchUp à la RV. Crédit photo Baroque Software® [328]

Citons encore *VRSketch*® [329] couplé au logiciel de modélisation 3D Sketchup® qui permet l'utilisation de ce logiciel courant en agence et en école d'architecture porté en RV. Là encore, l'objectif désigné semble être la modélisation géométrique plus que du *sketching* spatialisé. Néanmoins, reconnaissons que ce besoin de modélisation géométrique est un souhait récurrent chez certains architectes que nous avons pu côtoyer, sans que l'on puisse vérifier qu'il serait avantageux d'utiliser SketchUp® en VR plutôt qu'en *WIMP*.

VR DESIGN TOOLS (MAY 2018)

	Price	Drawing	Sculpting	Multiuser	3D Import Types	3D Export Types	Special Features
Tilt Brush	$19.99	X			OBJ, Blocks	FBX, JSON, Poly, Unity3D	Intuitive. Many brush styles. Guides
Blocks	Free		X		None	OBJ, Poly	Intuitive. Clean low-poly models. Great for massing.
Quill	$29.99	X			None	FBX, ABC	Feels the most like drawing and painting. Layers.
Gravity Sketch	$24.99 - basic $99.99/month - studio	X	X		OBJ	FBX, OBJ, Sketchfab	Clean curved surface modeling. Precision.
Medium	$29.99		X	X	OBJ, FBX	OBJ	Intuitive. LOD control. Good painting.
Sketchbox	$14.99	X	X		Blocks, GLTF, OBJ, FBX	FBX	Storyboarding tools, layers, snapping, intuitive
MasterpieceVR	$29.99	X	X	X	OBJ, FBX, STL	OBJ, FBX, STL	Collaborative. Balanced drawing sculpting. Project onto surface.
MakeVR	$39.99		X		STL	STL, OBJ	Precise snapping. Boolean tools. Sweep.
Mindesk	$159/month		X		3DM	All Rhino Exports	Rhino modeling-specific VR plugin.
UE4 VR Editor	Free		X		FBX, OBJ, Datasmith	FBX, Standalone application	Best graphics, mesh editing, physics materials.

Figure 22 Tableau récapitulatif des outils de conception en VR en mai 2018 dressé par *Agile Lens*© [330]

[328] https://baroquesoftware.com/ Cette société est une startup estonienne de Tallinn qui s'attache à porter la RV à l'architecture
[329] https://vrsketch.eu/
[330] Voir vidéo de la présentation d'Alex Coulonge, PDG de Agile Lens au colloque IM-Arch 2018, https://www.youtube.com/watch?v=ar9OPVQb8ew , 22'03

Armin Rigo et Maciej Fijałkowski travaillent actuellement à une version de *VRSketch* pour Revit®. La société Agile Lens a présenté un visuel[331] (Cf. Figure 22) lors d'un colloque IM-Arch, répertoriant les logiciels de dessin spatialisé. Il en ressort que la visée de modélisation du dessin spatialisé en 3D ou la « sculpture » (*sculpting*) sont majoritaires. Nous n'étudions pas le dessin spatialisé pour la modélisation 3D mais pour la l'idéation ou la revue de projet déjà esquissé.

2.4.4. Dessin spatialisé BIMable

Cette section vise à déterminer quelles seraient les précédents d'études relatives au dessin d'esquisse conciliables avec le BIM. Nous discutons d'abord l'idée de Kiviniemi qui considère que le dessin d'esquisse est essentiellement circonscrit à la phase courte d'idéation au début du projet, et peu présent ni nécessaire sur les phases ultérieures de documentation ; en conséquence de quoi le portage du dessin d'esquisse en contexte informatique serait infondé :

> « it is necessary to ask if there really is a need to computerize sketching. Sketching is just a very small fraction of the architect's work measured by work hours, and making it more efficient does not improve the whole process much even if we consider just the architect's own work. Considering the whole construction process, the efficiency of the sketching process means practically nothing. The quality of the design solution is much more important, and we do not believe that the use of a computer in sketching would make design solutions any better or worse. The quality comes deeper from the designer's skills, and the best tools are those supporting the designer's intent » (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 42) [332]

Commencer par cette remise en question du bienfondé de l'informatisation du dessin est intéressante car elle clarifie plusieurs points. D'abord que le flux de travail informatisé classique aujourd'hui est jugé suffisamment performant pour pouvoir exprimer les intentions du concepteur. Ensuite que le dessin d'esquisse n'occupe qu'une part congrue du processus de conception, en tout cas suffisamment négligeable pour que le faible impact dissuade toute réforme ou toute informatisation du dessin. Et le dernier point que les compétences de conception de l'architecte importent plus que sa maîtrise des outils de conception. Notre objection principale à ce point de vue est que l'informatisation du processus de conception est sans doute un bouleversement qui demande une analyse critique, ensuite que le dessin reste un réflexe naturel de l'architecte, et enfin que le sentiment de maîtrise a pour effet collatéral un excès de confiance, ou de « fixation » (Luchins, 1942) (Jansson and Smith, 1991, p. 3) (Perkins, 1981, p. 181). Le dessin d'esquisse intervient quand les logiques d'exploitation des idées prennent trop le pas sur celles d'exploration, et peut intervenir jusqu'à la fin de la phase descriptive ; il est essentiel à la considération d'idées alternatives (Goldschmidt, 1991b). A

[331] https://www.youtube.com/channel/UCbRgUd9sF8VteqQ0m1G00TA

[332] « il est nécessaire de se demander s'il est vraiment nécessaire d'informatiser le dessin. Le croquis n'est qu'une très petite fraction du travail de l'architecte mesuré par les heures de travail, et le fait de le rendre plus efficient n'améliore pas beaucoup l'ensemble du processus, même si l'on ne considère que le travail de l'architecte lui-même. Si l'on considère l'ensemble du processus de construction, l'efficacité du processus d'esquisse ne signifie pratiquement rien. La qualité de la solution de conception est beaucoup plus importante, et nous ne pensons pas que l'utilisation d'un ordinateur pour esquisser rendrait les solutions de conception meilleures ou pires. La qualité vient plus profondément des compétences du concepteur, et les meilleurs outils sont ceux qui soutiennent l'intention du concepteur. » Trad.Gouezou

notre connaissance, il n'existerait pas de recherche croisant les domaines du dessin d'esquisse, du BIM et de la réalité virtuelle. Nous avons connaissance d'un sujet de thèse qui serait en préparation sur un sujet mêlant Réalité virtuelle et augmentée avec le BIM, par Bob Vicent avec qui nous sommes en contact. Nous avons connaissance d'une offre de sujet de thèse sur le site de l'AFRV et rattachée à l'Ecole Nationale des Arts et Métiers intitulée ADIMANU[333] et dont l'objet serait à la conjonction des domaines de la réalité virtuelle et du BIM, de fluidifier les échanges d'informations et des fichiers en ayant recours au domaine de l'intelligence artificielle. Le périmètre de cette recherche nous a paru vaste, considérant tout le cycle du bâtiment, de sa conception jusqu'à sa destruction. Une communication[334] non scientifique d'un organisme public adressé aux professionnels intitulée *Google launches VR paint brush* de la section « *Technology* » de l'organisme anglais du bâtiment dédié à l'innovation, BIM+, affilié au RIBA[335]. Son objet est relativement proche de notre objet d'étude puisqu'il corrèle BIM et dessin spatialisé via l'application de dessin spatialisé *Tilt Brush®* de Google :

> « Although aimed at artists, the VR paint brush has obvious potential to be used by architects for sketching initial designs. Its future iterations can be used for editing or marking up 3D BIM models. Architects were keen to get their hands on the tool. Alistair Kell, director of information and technology at architectural practice BDP, told BIM+ they were already utilising VR for client engagement and he would be tracking the progress of the Tilt Brush closely. "*The Tilt Brush is an interesting proposition*," he said. "*At the moment we are making very good use of VR at a basic level, by sending models to Autodesk cloud and producing dozens of different VR models for client presentations*." » (Ravenscroft, 2016) [336]

Alistair Kell de l'agence d'architecture anglaise BDP expose une approche consistant à utiliser l'immersion en RV via un casque pour des présentations aux clients en intégration avec le continuum logiciel de l'agence. Chez ANMA, ce stade est opérationnel et permet, sans dénaturer la modélisation BIM et en intégrant ses modifications successives, d'agrémenter son affichage grâce au moteur de rendu graphique dynamique Enscape® qui est intégré à Revit®. Toute modification faite sur la modélisation BIM est reportée automatiquement sur cette visualisation Enscape®, permettant un travail de modification en temps réel. L'agence ANMA, qui supporte notre recherche, s'est de fait aussi engagée avec nous sur la voie d'une forme de dessin d'esquisse en RV qui serait « BIM » compatible. Dans l'absolu, l'idéal de nos recherches serait d'aboutir à une forme de dessin d'esquisse en lien direct avec la modélisation BIM sans que celle-ci ne subisse d'altération qui serait due, par exemple, à un défaut d'exportation dans

333 www.af-rv.fr/blog/2017/06/05/sujet-de-these-adimanu-adaptation-intelligente-des-maquettes-numeriques-pour-la-realite-virtuelle/ www.af-rv.fr/blog/2017/06/05/sujet-de-these-adimanu-adaptation-intelligente-des-maquettes-numeriques-pour-la-realite-virtuelle/

334 http://www.bimplus.co.uk/technology/video-goog5le-launch4es-vr-paint-br9ush/

335 Royal Institut of British Architects

336 « Bien qu'il s'adresse aux artistes, le pinceau RV a un potentiel évident pour être utilisé par les architectes pour dessiner les dessins initiaux. Ses futures itérations peuvent être utilisées pour éditer ou marquer des modèles BIM 3D. Les architectes ont tenu à mettre la main sur l'outil. Alistair Kell, directeur de l'information et de la technologie au cabinet d'architecture BDP, a déclaré à BIM+ qu'ils utilisaient déjà la RV pour l'implication des clients et qu'il suivrait de près les progrès du Tilt Brush. " Tilt Brush est une proposition intéressante," dit-il. "En ce moment, nous faisons un très bon usage de la RV à un niveau de base, en envoyant des modèles cloud d'Autodesk et en produisant des douzaines de modèles de RV différents pour les présentations des clients.» Trad.Gouezou

un format de fichier qui dégraderait la qualité des informations portées. En attendant d'atteindre ce stade d'évolution, le dessin sur base d'une modélisation BIM exportée dans un format de fichier autre, par exemple, en format. DAE qui est un format de fichier d'échange 3D en XML Collada, ou en format .OBJ, suffirait à notre recherche. Nous nous appuyons sur une recherche de l'équipe MINT de Laurent Grisoni associée à l'équipe du PIRVI menée par Samuel Degrande fait particulièrement écho à cette notre recherche. « A main levée » est développé pour l'artiste affiliée au Fresnoy[337] Pauline de Chalendar par Samuel Degrande de MINT, dans le cadre de Panorama#17, se confronte au problème du dessin spatialisé. Degrande a depuis rebaptisé son logiciel *VAirDraw* [338] . Pour nous, la frugalité exigée par Pauline De Chalendar pour éviter tout biais, ou tout effet de « béquille », est opportun car nous disposerons ainsi d'un précédent offrant une base de développement « neutre », et qui permettrait à des adaptations spécifiques au domaine architectural. Notre recherche vise justement l'adaptation d'une telle modalité de dessin spatialisé portée en contexte BIM. Le dessin spatialisé pourrait ainsi être abordé pour sa dimension expressive et non pour des aspects de modélisation géométrique. Jorge, Daniel Mateus, Mauricio Sousa, Rui De Klerk, Sandra Gama et José Pinto Duarte ont produit une étude très complète basée sur la totalité du flux de travail de l'architecte. La partie qui nous concerne s'adresse aux premières phases de conception pour laquelle l'équipe propose un système d'*air sketching*. Ce système est remarquable pour la qualité de ses fonctionnalités, notamment d'interface des menus qui n'apparaissent qu'au besoin, ou la qualité de la restitution graphique du tout via le moteur de rendu *Unity*® :

> « The Air Sketching system consists of a virtual reality display attached to the head (OculusRift) and a motion capture device (OptiTrack) in a physical interaction space of 24 cubic meters (4x3x2meters), providing the user with the ability to move freely within a virtual scenario. With stereoscopic vision display, the user can see the three-dimensional virtual space and move in that space as it moves in the real world. The user interacts with this virtual space through a Wii-Remote command, simulating the use of a "virtual pen", through which he may sketch and outline ideas. The command is used in the user's dominant hand. In the non-dominant-hand it is placed another device that serves to enable and disable a menu of options in the graphic interface, depending whether the hand is facing up or down, respectively. The prototype runs by combining data received by the OptiTrack device, by the Wii-Remote command, by the signal button soft he command, and by the device in the non-dominant hand, processing this information through a Unity 3D rendering engine, which in turn returns a visual result to the user through Oculus Rift display. » (Jorge et al., 2015, p. 113) [339]

[337] http://www.lefresnoy.net/panorama17/artwork/546/a-main-levee/pauline-de-chalendar#artwork
[338] http://cristal.univ-lille.fr//pirvi/projects/VAirDraw/
[339] « Le système *Air Sketching* se compose d'un affichage en casque de réalité virtuelle (Oculus Rift) et d'un dispositif de capture de mouvement (OptiTrack) dans un espace d'interaction physique de 24 mètres cubes (4 x 3 x 2 mètres), fournissant à l'utilisateur les moyens de se déplacer librement dans un scénario virtuel. Avec l'affichage stéréoscopique, l'utilisateur peut voir l'espace virtuel tridimensionnel et se déplacer dans cet espace en se déplaçant dans le monde réel. L'utilisateur interagit avec cet espace virtuel grâce à un contrôleur Wii-mote, simulant l'utilisation d'un " stylo virtuel ", à travers lequel il peut esquisser et cadrer des idées. La commande est utilisée dans la main dominante de l'utilisateur. Dans la main non dominante est placé un autre périphérique qui permet d'activer et de désactiver un menu d'options dans l'interface graphique, selon que la main soit tournée vers le haut ou vers le bas. Le prototype fonctionne en combinant les données reçues par l'OptiTrack, par le contrôleur Wii-mote, par les boutons de signal de la commande et par le périphérique dans la main non dominante, en traitant ces informations via un

Yan, Culp, and Graf présentent une interopérabilité particulière du BIM puisqu'elle consiste en une intégration du BIM dans un moteur de jeux vidéo permettant une promenade dans un environnement RV avec un rendu photoréaliste (*photorealistic walkthrough*) (Yan et al., 2011). Ils décrivent les problèmes d'importation de modélisations 3D dans des moteurs de jeu :

> « our approach allows the access of the BIM information, both geometric (graphics) and nongeometric (non-graphics) information, in real-time during the visualization (game play). While both BIM and game are running at the same time, we can access BIM information, such as room data, door information, and wall materials, in real-time and feed the data to game play. In addition, compared to VRML and Navisworks®, the game platform enables the inclusion of enhanced photorealistic graphics, increased intuitive human-computer interaction, and new simulation components » (Yan et al., 2011, p. 448) [340]

Il ne semble donc pas y avoir un accès direct à la base de données de la modélisation BIM en EV mais il est possible de corréler la scène en RV avec la scène originale sur un poste de travail classique supportant le logiciel natif du modèle pour chaîner la promenade et pouvoir, au cas par cas, accéder à ces données. Nous pourrions considérer cette expérience comme préfigurant le concept de bi-directionnalité de Kieferle et Woessner (Kieferle and Woessner, 2015a). Woessner et Kieferle (2016) ont mené une recherche visant l'étude de l'intégration du BIM et de la RV pour soutenir le travail collaboratif pour lequel différents canaux de communications sont impliqués. Pour la communcation exprimée facialement ou corporellement, le choix du CAVE s'impose face au casque de RV :

> « Informal communication is mostly done verbal in face to face discussions. Non verbal clues such as facial expressions or body gestures are also important for a successful communication. First and foremost the pointing gesture is important to provide context for the discussion. Without being able to point to an object on a plan, a model or the real world, identifying objects by verbal description only becomes time consuming and error prone. » (Woessner and Kieferle, 2016, p. 566) [341]

Le choix du CAVE renvoie donc au besoin de recueillir les signes de communication non verbaux comme l'attitude corporelle ou l'expression faciale. Nous retenons aussi de cette expérience sa dimension narrative : l'interaction entre deux agents, et l'emploi de la parole pour compléter les artefacts graphiques.

---

moteur de rendu graphique Unity3D qui, à son tour, renvoie un résultat visuel à l'utilisateur via l'affichage Oculus Rift » (Jorge et al., 2015, p. 113)

[340] «notre approche permet l'accès aux informations BIM, tant géométriques (graphiques) que non géométriques (non graphiques), en temps réel pendant la visualisation (game play). Pendant que le BIM et le jeu fonctionnent en même temps, nous pouvons accéder en temps réel aux informations BIM, telles que les données de la pièce, les informations de la porte et les matériaux muraux, et alimenter le jeu avec ces données. De plus, par rapport à VRML et Navisworks®, la plate-forme de jeu permet d'inclure des graphiques photoréalistes améliorés, une interaction homme-machine intuitive accrue et de nouveaux composants de simulation.» Trad .Gouezou

[341] « La communication informelle se fait le plus souvent verbalement lors de discussions face à face. Les indices non verbaux tels que les expressions faciales ou les gestes du corps sont également importants pour une communication réussie. D'abord et avant tout, le geste de pointer du doigt est important pour fournir le contexte de la discussion. Sans pouvoir pointer un objet sur un plan, un modèle ou le monde réel, l'identification d'objets par description verbale ne devient que longue et sujette aux erreurs.» Trad.Gouezou

Concernant la narration en RV, Laurent Lescop commente la dimension narrative de l'immersion en RV en s'appuiyant sur les travaux de Kevin Lynch pour expliquer comment se « peuple » un espace en RV :

> « space must be filled with elements in order to become a narrative space. Those elements borrowed from Kevin Lynch are landmark, node, path, edge and district [9]. This can describe either a natural or urban place, it gives the user many possibilities from being guided to explore a totally open world. One last topic is cutting and editing […] In VR, nodes are in a 2D, time become space, it is then possible to see all possible nodes which are every single point of space. It means that, if the storyline remains linear, the user can have a vision of infinite possibilities. » (Lescop, 2017, p. 255.256) [342]

Lescop expose, pour les domaines scénographiques et cinématographiques, le changement de paradigme qu'induit la réalité virtuelle pour le regardant, notamment du point de vue narratif. Il argumente que, dans un dispositif immersif à 360°, le temps et l'espace s'y confondent plus qu'ailleurs, le facteur temps pouvant s'exprimer par le mouvement, les effets de parallaxe, les focalisations etc. Ces considérations semblent moins convenir au domaine de la conception architecturale, comme l'argumente Lescop s'appuyant sur les travaux de Nelson Goodman

> «Dealing with narration would mean using a grammar. In basic communication [10] a message is held by a code that is shared by sender and receiver. A grammar helps to identify "words" that are organised in a "sentence". In many fields of creation, the notion of grammar is highly discussed and may not be efficient, for instance, an "architectural grammar" is a dead-end according to Nelson Goodman in Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols. Never the less, cinema possesses a grammar resulting to narrative innovations accomplished by Georges Méliès, David Wark Griffith, Lev Kuleshov and Sergueï Eisenstein for the early pioneers. The question is to know if it's possible to transpose the film grammar to a 360 immersive experience. » (Lescop, 2017, p. 256) [343]

Lescop semble hésiter, se référant à Goodman, il exclut qu'il puisse y avoir une grammaire architecturale, mais cette notion de grammaire pourrait ressurgir via le cinéma par exemple en RV si cette transposition était possible. Une autre recherche, de Joaquim Kieferle et Uwe Woessner, nous interpelle par son approche puissante destinée à lier réalité virtuelle et BIM, pour établir ce qu'ils appellent le lien « bidirectionnel » qu'il faut comprendre comme l'aptitude

---

[342] « […] l'espace doit être rempli d'éléments pour devenir un espace narratif. Les éléments empruntés à Kevin Lynch sont: landmark, node, path, edge et district [9]. Cela peut décrire un lieu naturel ou urbain, il offre à l'utilisateur de nombreuses possibilités d'être guidé pour explorer un monde totalement ouvert. Un dernier sujet est la découpe et l'édition. […] En VR, les nœuds sont en 2D, le temps devient espace, il est alors possible de voir tous les nœuds possibles qui sont tous les points de l'espace. Cela signifie que, si le scénario reste linéaire, l'utilisateur peut avoir une vision des possibilités infinies » Trad. Gouezou

[343] « S'occuper de la narration signifierait utiliser une grammaire. Dans la communication de base [10], un message est contenu dans un code partagé par l'expéditeur et le destinataire. Une grammaire aide à identifier les «mots» organisés dans une «phrase». Dans de nombreux domaines de la création, la notion de grammaire est très discutée et peut ne pas être efficace, par exemple, une «grammaire architecturale» est une impasse selon Nelson Goodman dans *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Néanmoins, le cinéma possède une grammaire résultant d'innovations narratives réalisées par Georges Méliès, David Wark Griffith, Lev Koulechov et Sergueï Eisenstein pour les pionniers. La question est de savoir s'il est possible de transposer la grammaire du film à une expérience immersive à 360 » Trad.Gouezou

d'implémenter les modifications accomplies indifféremment en BIM (Revit®) ou Réalité Virtuelle (Covise®):

> «Compared to various existing approaches, our new approach is to have bidirectional data exchange between the systems. Changes in Revit are directly reflected in VR and vice versa, continuously updating the model and its underlying database. We have been able to implement arrange of interactions, however it's still along way to identify further useful interactions and to implement them. » (Kieferle and Woessner, 2015b, p. 69)[344]

Kieferle & Woessner vont au-delà de Enscape® [345] grâce à ce concept de « *bidirectional link* », la possibilité de travailler une même modélisation BIM indifféremment dans Revit® ou en immersion RV de façon synchrone ou asynchrone ; parvenant à fluidifier les échanges de données grâce un « *addin* » en C#[346] dans Revit® et un autre en C++[347] dans COVISE®[348] développé et géré par Woessner lui-même. Selon le site dédié[349], COVISE peut être défini comme un environnement logiciel distribué et extensible offrant des fonctions de simulation, de post-traitement et de visualisation pour le travail collaboratif. Il est segmenté en modules pouvant être pris en charge par plusieurs machines et peut être mis en œuvre pour des affichages atypiques (CAVE, powerwall ou écran stéréoscopique, grands écrans tactiles, grand écran courbe, etc.). La description d'une version ultérieure (Woessner and Kieferle, 2016) de l'écosystème BIM et RV de Woessner et Kieferle prend la forme d'un *plugin* pour Revit et intègre des extensions des logiciels de traitement de texte pour soutenir les annotations :

> « The implementation is based on Autodesk Revit as a BIM software running on a Windows workstation. Revit is extended by a C# Plugin which realizes the communication with the VE. The VE is based on COVISE/OpenCOVER, an open source VR Framework which has been extended by a plugin that communicates with Revit. Microsoft Word, PowerPoint and Excel are extended by Add-Ins which implement communication between the respective office application and the virtual environment OpenCOVER. All of the components discussed in this paper are licensed under the LGPL v2.1 [[350] NDLR] and thus can be used for free in non-commercial and commercial applications. Source code of COVISE is published as a Git repository on github [[351]

[344] « Comparée à diverses approches existantes, notre nouvelle approche consiste à avoir un échange bidirectionnel de données entre les systèmes. Les modifications apportées à Revit se reflètent directement en RV et vice versa, en mettant continuellement à jour le modèle ainsi que sa base de données sous-jacente. Nous avons pu mettre en œuvre une gamme d'interactions, mais c'est aussi un moyen d'identifier d'autres interactions utiles et de les mettre en œuvre. » Trad.Gouezou

[345] PM, Enscape© qui est un moteur de rendu graphique dynamique couplable à Revit© mais qui ne permet ni interaction ni modification de la modélisation BIM.

[346] Langage de programmation C sharp

[347] Langage de programmation C++

[348] COllaborative VIsualization and Simulation Environment, soit « Environnement de simulation et de virtualisation collaborative de VIsualisation et de simulation »

[349] https://www.hlrs.de/covise/

[350] Pour *Library General Public Licence* : le L indique qu'une bibiliothèque « propriétaire » est associée à une licence GPL qui est caractéristique des logiciels *opensource* qui a pour caractéristique de de propager cette libre accession. Pour cette raison, le préfixe L pour *Library* permet en quelque sorte de « privatiser » cette license qui indique qu'un logiciel propriétaire est partiellement composé d'éléments opensource.

[351] Le logiciel GIT comme d'autres (e.g. Mercurial) écrit sur une base LINUX, gère les versions de logiciels de façon décentralisée, par exemple pour pouvoir revenir à une version antérieure d'un logiciel. GitHub est un service d'hébergement web pour le contrôle de version utilisant Git.

> NDLR]. All plugins communicate with each other through TCP sockets [352 NDLR]. Therefore the virtual environment can run on a different workstation or even a computer cluster.» (Woessner and Kieferle, 2016, p. 570) 353

COVISE est un logiciel mis au point en 1993[354] par le laboratoire HLRS de Stuttgart auquel appartient Woessner, et est toujours utilisé et développé aujourd'hui. Il peut être décrit comme un système de partage en réseau de données hétérogènes entre plusieurs personnes et plusieurs logiciels ensemble, tel une couche unifiant des couches et instances distinctes (e.g. données affichées par Revit, données affichées dans le CAVE) de données permettant à ces deux codes d'accéder à des données communes en assurant une mise à jour lors de modifications :

> « The communication protocol is based on the COVISE Messaging infrastructure. The COVISE Kernel provides a C++ communication library (coNet) which provides classes for raw sockets, connections and Messages. Messages have a simple header consisting of a type, size, sender and payload [355 NDLR] and can be sent over connections to other² applications. The message payload can be a binary buffer or a Token [356 NDLR] Buffer which provides serialization of a number of standard data types, strings, integers, floats, doubles and so on. A C# implementation of this library has been developed so that both the Revit plugin as well as the office plugins which are written in C# .NET could be implemented. » (Woessner and Kieferle, 2016, p. 570) 357

OpenCOVER et un autre logiciel du laboratoire HLRS adossé à COVISE pensé initialement pour faire de la visualisation scientifique sur des machines de marque *Silicon graphic* disparue depuis 2005. OpenCOVER permet la visualisation en RV des données gérées par COVISE. Notons que OpenCOVER ne supporte que les formats VRML2 et VRML97 qui sont d'anciens

---

352 Nom désignant un procédé informatique qui permet de communiquer à distance à bas niveau qui a pour objet de prévenir les de paquets de données, qui peuvent être réémis automatiquement

353 « L'implémentation est basée sur Autodesk Revit en tant que logiciel BIM fonctionnant sur un poste de travail Windows. Revit est étendu par un Plugin C# qui réalise la communication avec l'EV. L'EV est basé sur COVISE/OpenCOVER, un cadre RV open source qui a été étendu par un plugin qui communique avec Revit. Microsoft Word, PowerPoint et Excel sont complétés par des *Add-Ins* qui implémentent la communication entre l'application office respective et l'environnement virtuel OpenCOVER. Tous les composants discutés dans ce document sont sous licence LGPL v2.1 et peuvent donc être utilisés gratuitement dans des applications non commerciales et commerciales. Le code source de COVISE est publié sous forme de dépôt Git sur github [2]. Tous les plugins communiquent entre eux via des sockets TCP. L'environnement virtuel peut donc fonctionner sur un poste de travail différent ou même sur un cluster d'ordinateurs » Trad.Gouezou

354 Mis au point pour le projet de recherche européen EC RACE sous l'acronyme R2031 et nommé PAGEIN (Pilot Applications in a Gigabit European Integrated Network).
Source : https://fs.hlrs.de/projects/covise/doc/html/usersguide/intro/intro.html

355 Charge ou contenu réel

356 *Token* ou jeton est une labéllisation d'identification de différents types d'objets informatiques pouvant revêtir tellement de sens spécifiques qu'il est difficile d'en rendre compte. Disons qu'il s'agirait d'une entité lexicale simplifiée et identifiable que le programmeur prépare pour recueillir des entrées (*inputs*) d'utilisateur

357 « Le protocole de communication est basé sur l'infrastructure de messagerie COVISE. Le noyau COVISE fournit une bibliothèque de communication C++ (coNet) qui fournit des classes pour les *sockets*, connexions et messages bruts. Les messages ont un en-tête simple composé d'un type, d'une taille, d'un expéditeur et d'une charge utile et peuvent être envoyés via des connexions à d'autres applications. La charge du message peut être un *buffer* binaire ou un *Buffer Token* qui fournit la sérialisation d'un certain nombre de types de données standard, chaînes, entiers, décimales, doubles et ainsi de suite. Une implémentation C# de cette bibliothèque a été développée pour que le plugin Revit ainsi que les plugins office qui sont écrits en C#.NET puissent être implémentés. » Trad.Gouezou

formats RV. Le système entre RV et BIM que propose Woesner et Kieferle est très actuel dans sa prise en compte du workflow actuel observable dans de nombreuses agences (e.g proposer un plugin Revit, automatiser la rédaction de Procès-Verbaux de revue de projet sur une suite bureautique répandue), mais repose sur des logiciels et des formats anciens et ne semble pas avoir été actualisé depuis 2016 alors qu'il pourrait potentiellement prétendre à être diffusé et peut-être commercialisé. Nous pouvons supposer qu'une version améliorée est en préparation. Pour nous, cette recherche constitue un autre *graal* du point de vue du portage d'un outil RV dans le *workflow* BIM classique : l'immersion en RV dans la modélisation BIM est possible sans aucune altération du modèle géométrique ou de sa base de données, des interactions sont possibles, notamment des modifications, et ce en étant indifféremment adaptable aux systèmes logiciels commerciaux du BIM comme aux approches *opensource*. Cette étude ultérieure (Woessner and Kieferle, 2016) prend en charge le *workflow* collaboratif BIM classique mais le porte en EV basé sur un plugin Revit qui autorise les mêmes flux bi-directionnels entre le modèle au format *rvt* et son avatar en EV modifiables en temps réel avec une traduction écrite de « documentation » sur laquelle nous allons revenir. Les utilisateurs distants ou non peuvent ainsi se livrer à une séance de revue de projet en immersion avec les « minutes », soit un suivi au fil de l'eau des différentes remarques nommées « documentation » par Woessner et Kieferle. Ainsi, l'ordre de la visite est respecté, une note est numérotée et localisée en EV, sur le modèle Revit et sur les documents plus classiques de la suite office (principalement Word et Excel). Il peut s'agir de texte ou de flèches dont la taille est adaptée selon le point de vue et la distance :

> « the informal communication is done through a joint experience of the 3D world. Formal communication can be realized through "Revit design options". Meetings can be documented on the fly. Annotations can be placed anywhere in the model and snapshots can be taken any time. Both, annotations and snapshots, are automatically added to meeting minutes in an office document which can be freely extended. » (Woessner and Kieferle, 2016, p. 567) [358]

Les auteurs expliquent avoir travaillé sur le croisement des documentations sur et hors de la modélisation 3D du projet :

> « we implemented two methods to ease the documentation: Semi-automated documentation in an office document and semi-automated documentation in the BIM model. Both methods overlap to a certain degree » (Woessner and Kieferle, 2016, p. 568)[359]

Concernant la documentation via les logiciels de traitement de texte[360], disons que les entrées (*inputs*) sont diverses, les auteurs décrivent les fonctionnalités proposées :

[358] « La communication informelle se fait donc à travers une expérience commune du monde 3D. La communication formelle peut être réalisée par le biais de "Revit design options". Les réunions peuvent être documentées à la volée. Les annotations peuvent être placées n'importe où dans le modèle et les instantanés peuvent être pris n'importe quand. Les annotations et les clichés [*snapshot*, NDLR] sont automatiquement ajoutés au procès-verbal d'une réunion dans un document *office* qui peut être librement développé. » Trad.Gouezou

[359] « nous avons mis en place deux méthodes pour faciliter la documentation : la documentation semi-automatisée dans un document office et la documentation semi-automatisée dans le modèle BIM. Les deux méthodes se chevauchent dans une certaine mesure. » Trad.Gouezou

[360] Word mais la suite office implique aussi Exel, Powerpoint, etc.

> « snapshots […] colored arrows with attached labels […] video recording plugin allows to record live 2D or 3D videos from a VR […] This general meeting information is typically structured in templates and then filled in manually. Authoring of individual action items however can be efficiently supported by the VR system. Therefore we implemented a direct link from the VE to Microsoft office applications Word, Excel and PowerPoint […] In a follow up meeting, the snapshots can therefore be revisited in the VE. Snapshots can be double clicked in the office document and the VE jumps to the location of that snapshot. This allows a quick way to navigate to the location in question without the need of manually walking through the building and searching for the previous position» (Woessner and Kieferle, 2016, pp. 568–569) [361]

Nous voyons ici l'intérêt de spatialiser des informations figurant habituellement sur des supports abstraits, repérage spatial doublé d'un repérage chronologique étant donné que ces remarques spatialisées sont aussi « minutées ». L'intégration de traitement de texte en EV permet d'organiser et de commenter les clichés tirés de la visite virtuelle, avec un repérage spatial facilitant la revue de projet. La documentation via les logiciels de traitement de texte[362] accompagnant donc la revue de projet en intégration BIM en EV les entrées (*inputs*) sont diverses, les auteurs décrivent les fonctionnalités proposées :

> «Annotations carry attributes such as position, orientation and the creator (owner) of the annotation. This information is automatically stored in the BIM model as TextNotes. For example discussed modifications are labeled with a due date, responsible person and one or multiple approval check marks. Those are processed after the meeting in a formal way, item by item and rather than trying to keep track of those on paper, this information is added to the BIM model as attributes to 3D objects or labels. […] the discussed information is directly linked to the building elements in the 3D BIM model, even at the exact 3D location» (Woessner and Kieferle, 2016, p. 569)[363]

Les auteurs ont noté quelques difficultés en collaboration distante justifiant quelques possibles améliorations comme le marquage du n° de pièce, de l'heure exacte sur l'étiquette d'un commentaire, lier les annotations spatialisées avec leurs pendants écrits et listés, l'extension des pointages de l'avatar du collaborateur distant, etc. Les fonctionnalités de dessin ne sont pas intégrées mais sont envisagées (Woessner and Kieferle, 2016, p. 567), mais les auteurs précisent plus loin que c'est une forme classique de dessin qui est envisagé :

---

[361] « Toutefois, la création d'éléments d'action individuels peut être efficacement supportée par le système de RV. C'est pourquoi nous avons mis en place un lien direct entre l'EV et les applications Microsoft office Word, Excel et PowerPoint (...) Lors d'une réunion de suivi, les clichés [*snapshots*, NDLR] peuvent donc être revus dans l'EV. Les clichés peuvent être double-cliqués dans le document office et l'EV mène directement à l'emplacement de ce cliché. Ceci permet de naviguer rapidement jusqu'à l'endroit en question sans avoir besoin de se déplacer manuellement dans le bâtiment et de rechercher la position précédente »

[362] Word mais la suite office implique aussi Exel, Powerpoint, etc.

[363] « Les annotations comportent des attributs tels que la position, l'orientation et le créateur (propriétaire) de l'annotation. Ces informations sont automatiquement stockées dans le modèle BIM sous la forme de TextNotes. Par exemple, les modifications discutés sont étiquetés et datées, le nom de la personne responsable et une ou plusieurs marques de contrôle et d'approbation. Celles-ci sont traitées après la réunion de manière formelle, point par point, et plutôt que d'essayer de les suivre sur papier, ces informations sont ajoutées au modèle BIM comme attributs aux objets ou étiquettes 3D.[...] Les informations discutées sont directement liées aux éléments de construction dans le modèle BIM 3D, sur l'emplacement 3D exact » Trad.Gouezou

> « Annotations in form of 2D sketches should be supported. » (Woessner and Kieferle, 2016, p. 571) [364]

Nous relevons cette approche car elle soutient le débat contradictoire entre co-concepteurs, mais nous devons souligner que la visée consiste à l'accès à un compromis permettant l'avancement de la modélisation, et non sa remise en cause ou le soutien d'un échange de points de vue contradictoires. En outre, ces préoccupations pour les aspects collaboratifs traduisent aussi que la conception est abordée à un stade plutôt mature éloigné de nos visées : nous avons plutôt choisi de nous focaliser sur le travail individuel du concepteur architecte. Comme annoncé par Milovanovic et al, il n'existe aucune étude scientifique sur une telle intégration (Milovanovic et al., 2017, p. 7) (voir section 2.3.4), ce qui sous-entend que des démarches non scientifiques, amateurs ou professionnelles, sont possible, à l'exemple des activités d'Olivier Demangel pour le compte de la société *IVR Nation*[365]. Outre celle de Demangel, nous avons noté d'autres démarches d'architectes visant une intégration « professionnelle » de la RA ou RV et de la conception architecturale. Via le colloque IM-Arch[366], nous avons identifié différents architectes usant de la RV ou RA pour leur processus de conception. Pierre-Felix Breton est un concepteur chevronné, expert des outils de CAO et de Revit travaillant dans le domaine du jeu vidéo chez *Epic Games.* Tomaso Vergelli est architecte et pdg de *Supperresolution*[367], une société dédiée à la visualisation experte pour les architectes et designers, ce qui laisse supposer que les phases de conception créatives et les questions d'esquisse le concerneraient moins. Keely Colcleugh est architecte spécialisée dans les graphismes liés aux environnements construits et fondatrice de la société de visualisation qui œuvre autant en VR qu'en image de synthèse, pour le milieu de l'architecture, du *branding* ou du cinéma. Malgré les qualifications excellentes de ces architectes, tout laisse à croire que leur cœur de métier porte plutôt sur les questions de visualisation avancée et non sur les phases initiales de conception qui nous intéressent ici, ou qu'ils se sont éloignés du métier d'architecte. Inversement, nous avons identifié des architectes susceptibles d'être concernés par les phases de conception créatives. Helmut Kinzler est architecte chez Zaha Hadid, ZHA, depuis 1998 et y a développé le département dédié à la VR**.** Jose Pareja Gomez, chez ZHA depuis 2013, anime également ce groupe dédié à la VR. De même, Gerard Teo, co-fondateur, de l'agence d'architecture singapourienne ID Architects[368] qui a développé un département RV destiné à intégrer la RV au BIM et aux logiciels paramétriques, la VR permettant notamment des sessions collaboratives[369]. Via le magazine d'Architecture en ligne *Dezeen*, nous avons, comme Milonvanovic et al, repéré l'activité d'Alistair Kell pour le compte de l'agence d'architecture

[364] « Les annotations sous forme d'esquisses 2D devraient être supportées. » Trad.Gouezou
[365] https://www.ivrnation.com/
[366] http://2018.im-arch.com/
[367] http://www.superresolution.it/
[368] https://www.idarchitects.com.sg/
[369] IDA https://vimeo.com/225966129

BDP. Via la plateforme vidéo Youtube[370], nous avons détecté les activités d'Alex Coulombe, architecte ayant co-fondé *Agile Lens*[371], une société liant RA, RV et RX et conception.



Figure 23 extrait d'une conférence[372] donnée par Alex Coulombe de *Agile Lens*

Il présente un flux de travail (*workflow*) détaillé ailleurs[373] et supposé classique au sein de sa société, partant de *Revit*® en passant par *Tiltbrush*® puis *Unreal Engine*® pour revenir vers Revit®. Dans ce cas, la démonstration porte sur l'exportation d'un étage en format servant ensuite sur *Tiltbrush*® de support pour esquisser l'implantation de mobiliers divers et de cloisons et autres aspects d'aménagements intérieurs. Les traits grossièrement esquissés servent de guides pour pouvoir ensuite procéder à la phase d'habillage sur le moteur de rendu dynamique, *Unreal Engine*®, qui permet d'implanter des modèles géométriques de meubles, cloisons, ou lampes, avec des effets de matières et de lumières foisonnants. Dans ce cas, l'« effet de réel » s'avèrerait être plutôt un frein à la dynamique de l'esquisse dans la mesure où certains choix trop précoces peuvent figer les alternatives possibles. Via le réseau social professionnel *Linked In*, nous avons détecté l'activité de l'architecte Dustin Siegrist, co-gérant de l'agence d'architecture HKS. Il a posté une vidéo[374] de *sketching* d'un projet de stade en évoquant, à partir de l'esquisse sur Tiltbrush exportée au format FBX, le continuum logiciel possible :

> «Tiltbrush files can be exported to FBX and opened in Rhinoceros, which can then be used to save for Revit, Autocad, or another model editing software » [375]

Nous ne savons pas si l'on peut parler de communauté, notamment parce qu'il est possible que certains acteurs nous aient échappés, mais le groupe composé des utilisateurs professionnels que nous venons d'identifier est à même de nous procurer un retour d'expérience utile sur l'intégration de contenu BIM en VR et, pour certains, avec des fonctionnalités de dessin

[370] https://www.youtube.com/channel/UCbRgUd9sF8VteqQ0m1G00TA
[371] https://www.agilelens.com/
[372] https://www.youtube.com/watch?v=ar9OPVQb8ew
[373] https://www.youtube.com/watch?v=rkqiSemHNXc&feature=youtu.be
[374] https://www.youtube.com/watch?v=2VjLmhJm41c
[375] «les fichiers Tiltbrush peuvent être exportés vers FBX et ouverts dans Rhinoceros, qui peut ensuite être utilisé pour enregistrer pour Revit, Autocad, ou un autre logiciel d'édition de modèle » Trad.Gouezou

d'esquisse. Nous focaliserons notre étude sur le dessin spatialisé en lui-même, même si notre modélisation BIM devra être convertie dans un format compatible avec VRairDraw, c'est-à-dire que la modélisation CAO-BIM perdra ainsi ses propriétés « informationnelles ».

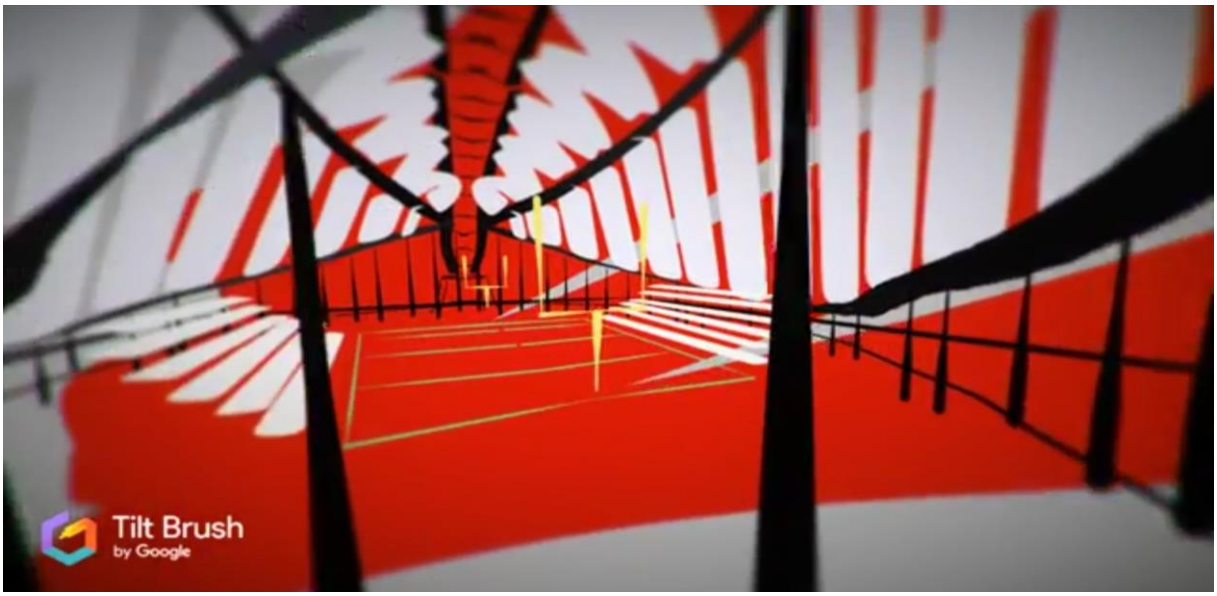


Figure 21 Extrait de l'esquisse d'un stade par Dustin Siegrist de HKS en 2016 (lien)

2.5. Conclusion

Concernant les sections 2.1 et 2.2 où nous avons abordé le dessin d'esquisse et ses réflexivités, nous avons vu que le dessin d'esquisse est un medium particulièrement adapté aux tâches d'idéation, d'évaluation et de révision d'hypothèses architecturales. Il fait écho à l'imagination ou imagerie intérieure, et la réflexivité joue un rôle dans les flux échangés entre les mémoires de travail et de long terme qui comporte l'expérience et les connaissances expertes (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010), et associant image et langage. Les dessins d'esquisses aident à changer de point de vue sur un élément de conception, ils valent conventionnellement le bâtiment projeté, ils permettent l'épreuve d'idées de façon itérative et incrémentale et la découverte d'idées inattendues qui rendent une conception originale. Nous avons insisté sur les aspects réflexifs du dessin d'esquisse dont les qualités dialectiques sont particulièrement adaptées à la conception architecturale, vue comme la conversation avec une situation (Schön, 1992) [376]. Le concept de dialectique de l'esquisse suppose la réflexivité d'allers-retours entre le concepteur et son dessin d'esquisse, en une alternance de points de vue touchant le concepteur qui, tour à tour, génère une idée, puis l'analyse, puis la modifie jusqu'à la mise au point d'une nouvelle idée (Goldschmidt, 1991b). La confrontation de points de vue qui en résulte correspond au caractère dissensuel (Estevez, 2013b) de la représentation architecturale où l'opposition et les hiatus entre différentes propositions architecturale sémantise le projet et ses éléments.

Concernant les sections 2.3 et 2.4 où nous avons abordé les précédents de dessins d'esquisse informatisés et le dessin spatialisé par informatique, nous avons passé en revue les précédentes recherches dédiées au dessin d'esquisse dont les qualités conviennent aux requis de la conception créative. Le dessin d'esquisse à la main convient toujours aux tâches ambigües en général, et particulièrement aux tâches d'idéation. De ce qui peut être observé en école ou en agence d'architecture, une persistance du dessin à la main est manifeste, tandis que les usages de l'informatique semblent se limiter à la CAO via une interface WIMP sur les phases ultérieures ; et rarement en EV. Les différentes formes d'informatisation du croquis ne semblent pas avoir abouti à une dissémination. Néanmoins, le dessin spatialisé en EV semble présenter un potentiel « dialectique » intéressant face aux géométries modélisées avec des logiciels de CAO en général, et BIM en particulier. La plupart des outils de dessin informatisé et spatialisé semble destinée à la modélisation en 3D, mais nous avons orienté nos recherches sur une autre approche du dessin spatialisé qui le considère pour lui-même, en tant que dessin dans l'espace et non pas pour modéliser des scènes en 3D. Nous considérons que c'est le rôle des logiciels de CAO. Nous avons situé notre recherche sur le dessin d'esquisse en EV relativement à l'implémentation du BIM parce que l'enjeu de son implémentation est évident mais les approches critiques semblent manquer. Nous avons alors passé en revue des recherches liant RV et dessin d'esquisse, et quelques autres, plus rares, impliquant aussi le BIM. Certains doutent de l'intérêt d'informatiser le dessin d'esquisse (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 42).

[376] Visser attribue la paternité de la formule reflective conversation with the situation à Dewey (Visser, 2010, p. 2)

Certaines approches de spatialisation du dessin consiste à dessiner en 2D, à plat sur une table, puis à les disposer dans l'espace (Dorsey, 2007) (Dorta et al., 2016). D'autres approches spatialisent directement les dessins, c'est-à-dire qu'ils sont exécutés dans l'espace même de l'EV selon les trois axes x,y,z (Schröder et al., 2001b). Le dessin spatialisé en EV s'expérimente facilement et permet une liberté expressive comparable au dessin à la main (Schkolne, 2002), son apprentissage est rapide et intuitif (Wiese et al., 2010). L'immersion est définie comme la focalisation de l'attention par une autre scène synthétique (Murray, 1998, pp. 98–99), et comme un potentiel d'actions et de stimulations sensorielles (Vercher and Mestre, 2011, p. 99). Pour certains, l'immersion serait un concept technologique distinct du concept psychologique de présence. Nous avons vu dans la section 2.3.3 que le sentiment de présence correspond, selon Slater et Wilbur, à un état de conscience, un sentiment psychologique d'être présent dans l'environnement virtuel (Slater and Wilbur, 1997, p. 4). Les époux Turner ont caractérisé le sens du lieu comme une expérience propre à chacun, selon sa mémoire et son attachement émotionnel à cet espace et les significations qu'on lui confère (Turner and Turner, 2006). Dans ce sens, la déambulation dans l'espace semble favoriser l'appropriation par la reconnaissance du lieu et de la navigation associée établis par O'Keefe et les époux Moser (O'Keefe et al., 2014b). Evoquant le sens du lieu des Turner, Sheridan a décrit un sens de la présence en RV qui est déterminé par la perception visuelle et la perception du positionnement propre parmi des géométries liées aux mouvements par effet de parallaxe (Sheridan, 1992, p. 122). Pour le dire autrement, l'appréhension spatiale par l'immersion RV est personnelle et émotionnelle, par les mouvements qu'elle autorise et les effets de parallaxe qui en résultent, elle offre une expérience dynamique de l'espace qui intègre différents sens (vision, kinesthésie) et associe le temps et l'espace. A ce stade il n'est pas exclu que l'immersion en RV renforce les flux mnémoniques entre mémoire de travail et mémoire à long terme (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010). Le concept de présence est donc définie comme le rapport entre la proprioception liée au monde réel et la vision liée à l'EV (Vercher and Mestre, 2011, p. 99), ou comme l'association et corrélation des changements de point de vue liés à la navigation spatiale et l'adéquation entre la perception visuelle et la proprioception qui requiert l'absence de latence (Sheridan, 1992, p. 122). En neuroscience, Julian Tremper et Stan Gielen ont étudié la dégradation de la coordination visuo-motrice provoquées les différences de direction dans l'espace, ce qui concerne l'immersion en RV et le dessin spatialisé associé. Ils ont observé une charge cognitive et sensorimotrice plus élevée. Ils l'attribuent à des différences du contrôle visuo-moteur selon que le regard se porte sur l'avant-plan de « travail » (mouvements oculaires latéraux et verticaux) ou sur la perception de profondeurs (mouvements oculaires de convergence) (Tramper and Gielen, 2011), expérience désagréable qui dégradera l'immersion ou présence. La présence peut aussi être assimilée au concept émotionnel de sens du lieu (Turner and Turner, 2006, p. 4). La qualité immersion en EV dépend aussi de sa cohérence esthétique (Bokyung, 2016, p. 1), les disparités diverses seraient à proscrire car limitant le sentiment d'immersion. L'immersion est améliorée par un contenu 3D réaliste (Schnabel et al., 2007, p. 12), ce à quoi nous accorderons une attention particulière. L'immersion en RV permet une meilleure

appréhension de l'espace, performe mieux que les représentations traditionnelles, facilitant l'évolution et la manipulation du projet (Schnabel et al., 2007). L'immersion procure un *feedback* avec l'EV (Schnabel et al., 2008, p. 297). L'acuité des concepteurs serait augmentée par l'immersion en RV (Schneider et al., 2018, p. 106). L'intégration du BIM et de la RV via un CAVE soutient les sessions collaboratives de revue de projet en préservant l'expressivité des échanges interpersonnels (Yan et al., 2011, p. 448) par un lien « bidirectionnel » avec un poste classique doté d'un logiciel de modélisation en CAO-BIM (Kieferle and Woessner, 2015b). Bien qu'étant le moyen majeur d'expressivité graphique, le dessin d'esquisse, spatialisé ou non, semble insuffisamment intégré.

3. ENJEUX DE L'IMPLEMENTATION DU BIM

Nous avons présenté diverses expériences d'informatisation du dessin d'esquisse. Tout en reconnaissant l'intérêt et la pertinence de nombre d'entre elles, notamment celles qui tentent de traduire des traits en géométrie, nous avons pu clarifier notre hypothèse de travail portant sur le dessin d'esquisse spatialisé sans traduction géométrique. Le présupposé ici consiste à considérer qu'une forme spatialisée serait adaptée aux modélisations en CAO-BIM que nous devons d'abord examiner dans les aspects importants de son implémentation avant d'en voir le problèmes du point de vue de la conception créative.

3.1. Problèmes de définition du BIM et *marketing*

3.1.1. Définitions

Il semble qu'aucune définition unifiée du BIM ne semble pouvoir émerger. Le chercheur australien Dominik Holzer constate cette absence de consensus et la disparité des définitions :

> « Whilst the application of BIM becomes more accepted and widespread throughout the industry, we do find ourselves in the paradox situation that nobody quite seems to agree on how to define BIM anymore. » (Holzer, 2007, p. 1) [377]

Nous présentons les acceptions les plus significatives pour tenter de discerner ce qu'elles ont en commun. La définition qu'en donne le comité *National bim standard* (qui relève du *National Institut of Building Sciences*) présenté par l'AIA[378], l'organisme équivalent à l'ordre national des architectes aux États-Unis. Le BIM y est défini comme une base de données associée à une modélisation 3D :

> «Building Information Modeling (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition. » (AIA, 2014) [379]

L'association de géométries avec une base de données semble caractériser la modélisation BIM qui incarne le projet de sa genèse à sa destruction. Pour désigner cette modélisation de géométries sémantisées, nous trouvons que le terme de « représentation digitale » proposée par l'AIA pose problème, s'agissant de modèle 3D et non de dessin « valant pour » une géométrie. Concernant l'étendue des usages du BIM du début à la fin du projet et bâtiment, Sampaio cite une étude de (Chen and Luo, 2014) pour exprimer le continuum de traitement des informations du bâtiment au long du processus BIM, de sa conception à son exploitation et jusqu'à sa

[377] « Alors que l'application du BIM est de plus en plus acceptée et répandue dans l'industrie, nous nous trouvons dans la situation paradoxale où personne ne semble s'accorder sur la façon de définir la BIM. » Trad.Gouezou
[378] American Institut of Architecture
[379] « Le *Building Information Modeling* (BIM) est une représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'une installation. Un BIM est une source de connaissances partagées pour l'information sur une installation qui constitue une base fiable pour la prise de décisions au cours de son cycle de vie ; il est défini comme existant depuis sa conception jusqu'à sa démolition.» Trad.Gouezou

destruction, une approche qui ne serait pas sans lien avec l'approche PLM désignant la gestion des cycles de vie (*Product Life Managment*) [380]:

> « BIM methodology can generate and maintain information produced during the whole lifecycle of a building project, from design to maintenance, in a centralized model, the BIM model. As so, the BIM data-rich model supports the application of the rich-data in various fields » (Sampaio, 2018, p. 60) [381]

Sampaio propose que le lien entre BIM comme logiciel et comme processus ou méthodologie pourrait s'exprimer au travers du prisme de l'information qui est la raison d'être de la modélisation logicielle et la condition *sine qua non* du processus BIM. Il n'est pas faux de dire que les logiciels ne définissent pas l'approche BIM mais lui est essentielle car elle est le moyen de soutenir l'information. Holzer nous rappelle que cet acronyme a été forgé par Autodesk au début des années 2000 :

> « Before the currently accepted acronym 'BIM' was coined by Autodesk in the first years of the 21st century, a vast development had taken place resulting in a variety of proposals for object orientated building design linked through commonly accessible databases » (Holzer, 2007, p. 4) [382]

Au moment du rachat de Revit par Autodesk au début des années 2000, un de ses vice-présidents, Phil Bernstein, aurait forgé cet acronyme, préemptant les démarches préalables d'association entre information et géométries. Carpo date le BIM et le résume, pour l'essentiel, à l'aspect logiciel :

> « The generic term Building Information Modelling, or BIM, came into use in the early 2000s to designate software for building and construction management and cost control » (Garber, 2009a, p. 226)[383]

A ce stade, nous considérons que la modélisation BIM correspond à une association entre géométrie et information et qu'il est difficile de parler de processus BIM sans considérer ses aspects logiciels essentiels à cette association d'un modèle 3D et d'une base de données.

---

[380] De ce point de vue, nous supposerons que l'approche BIM est redevable aux précédents créés par Dassault System qui, dans Catia©, intégrait le PLM. Les logiques d'Analyse du Cycle de Vie (ACV: méthodologie multicritère d'évaluation environnementale, normalisée ISO 14040-44. Le CSTB propose Elodie, son logiciel d'ACV, lien https://logiciels.cstb.fr/batiments-et-villes-durables/performances-environnementales/elodie/ consulté le22/07/2018. Cette approche dynamique du bâtiment, de la conception à la destruction, sera un requis de la règlementation technique qui remplacera la RT2012, la RE2020 aujourd'hui préfigurée par le label *E+C-* (pour énergie+, carbone -), afin d'évaluer les performances énergétiques et le bilan carbone sur la totalité de la vie du bâtiment.

[381] « La méthodologie BIM permet de générer et de maintenir les informations produites tout au long du cycle de vie d'un projet de bâtiment, de la conception à la maintenance, dans un modèle centralisé, le modèle BIM. Ainsi, le modèle BIM, riche en données, soutient l'application des données riches dans divers domaines » Trad.Gouezou

[382] « Avant que l'acronyme actuellement accepté " BIM " ait été inventé par Autodesk dans les premières années du 21ème siècle, un vaste développement avait eu lieu résultant en une variété de propositions pour le design de bâtiment orienté objet lié par des bases de données communément accessibles. » Trad.Gouezou

[383] « Le terme générique BIM (Building Information Modelling) est utilisé depuis le début des années 2000 pour désigner les logiciels de gestion et de contrôle des coûts des bâtiments et de la construction. » Trad.Gouezou

3.1.2. Les architectes français au seuil du BIM

On a pu observer que la mise en œuvre du BIM se heurte, notamment en France, à la réticence d'architectes que l'on pourrait imputer à de multiples facteurs (Didelon, 2014). De fait, en changeant les habitudes de travail, il perturbe les architectes à la fois dans le déroulement linéaire ou séquentiel du processus de conception du bâtiment mais aussi dans les logiciels où la nécessaire standardisation de certaines procédures constitue une contrainte forte exercée sur la liberté d'expression graphique. La résistance au changement que constitue le BIM peut aussi s'expliquer lorsque des qualifications acquises au long cours sont soudain rendues obsolètes par une innovation, qui serait ici le BIM. Il est compréhensible qu'il y ait des difficultés à sortir de la zone de confort dans ses pratiques professionnelles rôdées. Renoncer à un savoir longuement acquis pour redevenir débutant sur de nouveaux principes et nouveaux outils est difficile, notamment lorsqu'il faut rester constamment opérationnel. Dans ces circonstances, comment discerner, dans l'argumentation anti-BIM, ce qui serait fondé de ce qui serait fallacieux ? Le caractère contraignant du BIM semble effectivement réduire les libertés graphiques des concepteurs dans la façon de dessiner mais aussi dans les rapports avec les autres métiers du bâtiment. L'article de Valery Didelon (Didelon, 2014) nous renseigne sur l'ensemble des « charges » retenues contre le BIM qui pourrait caractériser les réticences proprement françaises, notamment concernant le coût des logiciels pour les petites agences, très nombreuses en France. Les petites structures seraient peut-être plus exposées à ce changement de paradigme du BIM. Sachant que la France compte environ 30000 architectes inscrits au CNAO[384], et que la moitié travaille à un grain d'effectif oscillant autour de 1,5 personne, il est aisé de comprendre que la problématique française concernant le BIM aura à voir avec cette question de la taille d'agence : les nombreuses petites agences représentent un poids considérable en regard du BIM qui semble inaccessible du fait des prix pratiqués par les éditeurs de logiciels. Subissant déjà la crise économique depuis 2008, les architectes français doivent donc aussi s'adapter au BIM qui, rappelons-le, est à la fois un changement de méthode de conception de l'architecture et un changement majeur de paradigme des outils informatiques dédiés à la conception architecturale. La constatation de la difficulté à migrer vers le BIM a parfois été observable au sein de l'agence ANMA où, comme ailleurs, la mutation ne va pas de soi et réclame des adaptations. Des formations soutenues et la progressivité de ces changements les auront facilités. Mais, en contrepartie, le BIM est supposé renforcer la position centrale de l'architecte dans la production d'architecture, notamment par accroissement de sa capacité de travail. Certains considèrent, comme Thibaud Robert (Robert, 2014), que le BIM constituerait une planche de salut pour les petites structures qui y trouverait un levier de productivité décisif pour reprendre pied face aux autres acteurs du bâtiment qui peuvent parfois contester la position centrale de l'architecte dans le processus d'élaboration d'un bâtiment. Thibaud Robert dénote par son optimisme envers le BIM dans le sens où, selon lui, le BIM serait à même d'aider l'architecte à traiter nombre de problèmes complexes et, par-là, le conforter dans son rôle d'auteur du bâtiment, et ce sans qu'un

[384] Conseil National de l'Ordre des Architectes

effectif réduit soit pénalisant.[385] D'autres contestent cette vision optimisatrice ou productiviste du BIM. Le problème de la réduction d'effectifs, ou la mise au pas des acteurs « créatifs » par les acteurs « comptables ». Valery Didelon qui critique triplement le BIM, accusé de privilégier la rentabilité au dépend des emplois, le coût du logiciel et de la formation conséquente :

> « En fin de compte, la logique est financière : les gains de productivité améliorent la compétitivité, laquelle accroît la rentabilité des agences. Les partisans du BIM font même valoir des perspectives intéressantes pour un professionnel travaillant seul, pour autant que celui-ci puisse s'offrir le programme informatique idoine et se former à son utilisation. » (Didelon, 2014, p. 75)

D'autres visions émergent en France faisant valoir plusieurs aspects du BIM, dont les aspects paradigmatiques et organisationnels. Olivier Celnik et Éric Lebègue se réfèrent à la définition du ministère de l'Industrie pour décrire le principe de l'ingénierie « concourantes », terme qui recouvrerait l'idée de travail convergent et simultané, mené en temps masqué, principe de concourance que le BIM intègre :

> «une approche systématique pour concevoir un produit prenant en considération tous les éléments de son cycle de vie, depuis la conception jusqu'à la mise à disposition du produit et par conséquent intégrant la définition du produit, les processus de fabrication, et tous les autres processus requis dans le cycle de vie tels que, notamment, le fonctionnement ou la maintenance. Cette approche doit permettre aux équipes multidisciplinaires (calcul, fabrication, suspension) et/ou multi-métiers de travailler en parallèle, le plus tôt possible, vers un même but. » (Celnik and Lebègue, 2014, p. 39)

Dans le même esprit, Thierry Parinaud, vice-président de l'UNSFA et de Mediaconstruct, dépeint le milieu français de la conception architecturale comme culturellement fragmenté : le mode de passation de marché avec la loi MOP, la formation héritée des Beaux-Arts, expliquerait l'organisation séquentielle du processus de conception :

> « La France affronte spécialement une séparation et une étanchéité de ses métiers (architectes, ingénieurs, économistes, entreprises, maîtres d'ouvrage, gestionnaires techniques). Il faut en chercher les causes principales dans l'héritage culturel bien sûr, mais aussi dans l'éclatement des procédures de passation des marchés, qui ne favorisent pas le travail collaboratif, alors que cette pratique est déjà généralisée dans les pays anglo-saxons. On retrouve ce cloisonnement dans la structure de nos écoles dédiées à l'architecture, ou à l'ingénierie ou à la construction (sauf pour les doubles diplômes, difficiles à mettre en œuvre). Les étudiants sont ainsi formés à travailler seuls et reproduisent ce comportement dans leur vie professionnelle. De plus, en France, comme le souligne Thierry Parinaud : "*ces multiples partenaires se concurrencent et travaillent avec des outils distincts et des pratiques professionnelles aussi diverses que variées.* » (Celnik and Lebègue, 2014, p. 343)

Les acteurs français qui travailleraient presque sans se parler seraient ringardisés par l'implémentation du BIM et des nouveaux modes d'organisation anglo-saxons. A ce stade il n'est pas exclu que la rupture que représente le BIM soit autant un phénomène logiciel

[385] Ces propos sont synthétisés sur la base de son intervention dans le cadre d'une conférence « BIM : promesses, réalités et perspectives » organisée à l'ENSAPL le 23 janivier 2017 par Adrien De Bellaigue et Vincent Gouezou

qu'organisationnel. S'il n'est pas exclu que le BIM soit bénéfique à bien des égards, il n'est pas non plus exclu qu'il masque aussi une critique de la place tenue par les architectes dans le processus de fabrication du bâtiment, défendue culturellement et institutionnellement, face aux intérêts de *majors* du BTP.

3.1.3. Le marché des logiciels BIM

Si l'implémentation du BIM ne constitue pas l'objet de cette recherche, nous assumons qu'elle en est le contexte[386]. Son étude critique devra nous permettre d'en distinguer les apports, les problèmes et les questionnements qu'il suscite au regard du métier d'architecte ; nous nous intéresserons particulièrement au BIM en pré conception architecturale, tel qu'il impacterait les débuts du projet impliquant traditionnellement des pratiques du dessin d'esquisse. Signalons d'abord que le BIM paraît plus relever d'un phénomène professionnel et socio-économique que d'un domaine scientifique à part entière, tant les productions scientifiques sur le sujet semblent relativement marginales. Les aspects commerciaux du BIM semblent prévaloir. Le marché est important, incluant licences, formations, et autres services représenterait 3,58 milliards de dollars en 2017[387] et devrait atteindre 7,64 milliards de dollars en 2022, soit un important taux de croissance annuel de 16.51%. Des entreprises d'envergure internationale (e.g. Autodesk, Graphisoft, Nemetschek, etc.) élaborent des stratégies marketing tendant à monétiser autant que possible leurs produits. Le *business mode*l d'Autodesk, par exemple, consiste à racheter des concurrents[388], à rendre les clients captifs en ne facilitant pas les transferts vers des formats concurrents, frappant d'obsolescence ses produits pour contraindre les clients à adopter les nouvelles versions, cesse de vendre ses produits pour un système de location plus lucratif, etc. En contrepartie, l'adoption massive de ces produits est observable en école et en agence d'architecture, ce qui laisse supposer que les besoins basiques des concepteurs sont comblés. L'autre approche logicielle est, inversement, « open » ou « ouverte », basée sur un principe ou interopérabilité et qualifiée d'« OpenBIM » ; elle semble moins structurée mais elle est aussi plus amène envers les usagers, dans la mesure où elles ne visent pas la captation de clients mais la facilitation des échanges ; toutefois sans que l'on puisse affirmer que ces solutions sont suffisamment performantes pour être massivement adoptées dans les agences d'architecture, comme on peut l'observer en école et en agence d'architecture. L'enjeu majeur de ce qui est, de fait, une compétition entre les éditeurs pour gagner l'adoption de leurs produits par les usagers serait de convaincre les clients de leur praticité et efficacité. On pourra supposer qu'une

[386] 49 millions d'occurrences sur Google en octobre 2015. En outre, le sujet occupe mondialement l'essentiel des débats sur les outils informatiques dédié au secteur Bâtiment et constitue notoirement l'étape majeure que doit franchir ce secteur.

[387] « the BIM market is segmented by type as software and services" Source: http://www.reportlinker.com/p04825391/Building-Information-Modeling-BIM-Market-by-Type-Software-Services-Project-life-cycle-Pre-construction-Construction-Operation-Application-Buildings-Civil-Infrastructure-Oil-Gas-Industrial-Utilities-Geography-Global-Forecast-to.html

[388] e.g. Autodesk a racheté Revit© en 2002, conformément à sa stratégie de rachat de produits « prometteurs » qui sont ensuite, généralement, adaptés, améliorés pour affirmer un avantage compétitif sur la concurrence. Dans le cas de Revit©, Autodesk semble avoir choisi une stratégie multi-métier, adressant le même logiciel aux architectes, aux ingénieurs structures et aux ingénieurs fluides, probablement dans un souci d'éviter les problèmes d'échanges.

fois qu'un utilisateur a investi du temps pour se former à l'utilisation d'un outil qu'il a choisi, il sera ensuite peu enclin à recommencer à s'investir sur un nouvel outil concurrent. Si les mesures incitatives, voire contraignantes, peuvent expliquer cette adoption du BIM, nous avons noté chez ANMA que chaque architecte initié à la logique BIM n'envisageait pas de retour en arrière, ce qui est régulièrement confirmé par divers observateurs tel Olivier Celnik. Aux Etats-Unis, où le BIM est « imposé » au moins depuis 2008, le BIM est grandement promu et porté par l'AIA[389]. Le passage au BIM a ensuite été observé dans la plupart des pays asiatiques. C'est maintenant au tour de l'Europe, où la commission européenne pilote le passage au BIM par des mesures incitatives, formalisé dans l'article 22.4 [390] de la directive 2014/24/UE du parlement et du conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE/. Les états membres relaient et promeuvent cette directive, l'idée générale étant de conditionner l'accès à la commande publique à la maîtrise du processus BIM et des outils afférents. La France s'est dotée d'une mission numérique du bâtiment qui a produit en 2014 le Rapport Delcambre[391] encadrant la mise en œuvre nationale du BIM. Le « T zéro » en France pour le passage au BIM était fixé au premier janvier 2017 mais on peut observer que le processus est encore en cours. Il semble que les mesures incitatives telles qu'elles ont été promues par l'AIA aux Etats-Unis ou par la Communauté Européenne, se rapportent aux avantages intrinsèques supposés du BIM, notamment liés à des questions de gain de productivité et d'économie qu'il est difficile de clarifier. Certains considèrent que la diminution des ressaisies permises par l'interopérabilité de la modélisation BIM permet des économies, d'autres que le travail en temps masqué et les inputs précoces des experts raccourcirent les atermoiements créatifs de l'architecte, d'autres considèrent que l'optimisation des phases de gestion et d'exploitation (GMAO) permises par la modélisation BIM constituent la source principale d'économies. Ces aspects commerciaux sont indétachables du BIM mais ne nous empêchent pas de considérer une autre réalité du BIM vu comme modélisation géométrique et informationnelle correspondant à un changement de paradigme des outils de CAO. Le gain de productivité du BIM serait « irrésistible », ce serait cette qualité qui, avant toute autre, dynamiserait le marché des logiciels de CAO-BIM. Selon un papier de 2007 de Joann Gonchar de l'AIA[392] qui peut paraitre excessive dans ses conclusions, le BIM permettrait de faire jusqu'à

[389] American Institut of Architects. Lien vers son action depuis 2012 : http://network.aia.org/technologyinarchitecturalpractice/home/bimstandards. En appui de l'AIA, L'association BuildingSMART anime un site mettant à disposition 77 guides : http://bimguides.vtreem.com/bin/view/BIMGuides/Guidelines
Le NBIS-US (National Bim Standards References_US) établi les standards et bonnes pratiques en usage dans le métier : https://www.nationalbimstandard.org/

[390] La directive européenne 2014/24/UE du 26/02/2014 incite les 28 états membres à conditionner l'accès à la commande publique à l'utilisation d'outils BIM par l'article 22.4 « Pour les marchés publics de travaux et les concours, les États membres peuvent exiger l'utilisation d'outils électroniques particuliers tels que des outils de modélisation électronique des données du bâtiment ou des outils similaires. Dans ces cas, les pouvoirs adjudicateurs offrent d'autres moyens d'accès, selon les dispositions du paragraphe 5, jusqu'à ce que ces outils soient devenus communément disponibles au sens de paragraphe 1, premier alinéa, deuxième phrase.» http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0024&from=FR

[391] (Delcambre, 2014)

[392] (Holness, 2006, p. 42)

40% d'économies sur le coût total du bâtiment. Ce chiffre, issu d'une étude du NIST sur les pertes causées par les défauts d'interopérabilité de 2004, sert de référence à plusieurs articles. Le rapport du NIST révèle que cette estimation provient d'un témoignage d'entrepreneurs recueillis lors d'une discussion libre. L'un d'entre eux évalue ces gaspillages à 30%:

> « One respondent indicated that "*our industry's inability to communicate effectively has created tremendous waste and inefficiency, estimated at up to 30 percent of the total cost of each building project. Today, advanced computer technologies based on object-oriented data provide us with an opportunity to create synergy among each discipline's language and make the industry information truly 'interoperable'*. » (O'Connor et al., 2004, pp. 3–3) [393]

Le rapport du NIST évoque le chiffre de 30 à 40 % d'économies réalisables grâce à une meilleure interopérabilité dans le secteur manufacturier. Ces estimations sont significatives de visées et d'ambitions mais ne semblent pas fondées sur des chiffres. Les entrepreneurs disent que les problèmes majeurs sont l'absence de normes, le processus de communication inefficaces, le manque de communication entre les logiciels de CAO et les autres systèmes d'information, la réutilisation limitée des connaissances sur les projets dans l'entreprise, l'analyse des décisions, le manque de priorités claires et les problèmes de gestion du papier (O'Connor et al., 2004, pp. 3–3). Précisons que l'essentiel des 16 milliards de dollars de pertes liées au défaut d'interopérabilité en 2004 aux Etats-Unis correspond à la phase d'exploitation du bâtiment représentant 9md$. La première phase de conception représente 2,6 md$ dont les architectes et les ingénieurs supportent 1md$ dont moins de la moitié sont des dépenses d'évitement de problèmes d'interopérabilité (*avoidance costs*) en phase d'étude - soit 485 m$ - et plus de la moitié sont des dépenses de correction de problèmes d'interopérabilité (*Mitigation costs*) en phase construction - soit 684 m$ - [394]. Le problème de mauvaise interopérabilité entre les acteurs, problèmes d'échanges d'informations imputable essentiellement aux incompatibilités entre outils, concerne les architectes et ingénieurs en phase conception. Au-delà, pour les phases suivantes de construction puis d'exploitation du bâtiment, nous pouvons supposer qu'une bonne interopérabilité enclenchée dès la phase de conception préparerait la suite et bénéficierait à tous. En effet, Jean-Yves Bresson (2014) détaille les pertes financières :

> « Les éléments chiffrés, issus des travaux du NIST*, qui sont résumés et présentés ici, sont des montants sous-estimés, fondés sur la base d'informations d'exploitation et de construction [...] Le coût de la non-interopérabilité aux Etats-Unis est estimée environ à 16 milliards de dollars chaque année. Ce coût est supporté à 67% par les propriétaires et les bailleurs, à 14% par les fournisseurs spécialisés, à 11% par les promoteurs constructeurs et à 7% par les cabinets d'ingénierie et d'architecture » (Bresson, 2014, p. 46)

[393] « Un participant a indiqué que " l'incapacité de notre industrie à communiquer efficacement a créé un gaspillage et une inefficacité énormes, estimés jusqu'à 30 % du coût total de chaque projet de construction. Aujourd'hui, les technologies informatiques avancées basées sur des données orientées objet nous permettent de créer une synergie entre les langages de chaque discipline et de rendre l'information industrielle véritablement " interopérable ". » Trad.Gouezou

[394] Cf. Tables ES-2 et ES-3 (O'Connor et al., 2004, p. ES-7)

Holness rend compte des estimations encore supérieures de l'association *Building Smart* (ex IAI[395]), en pointe pour promouvoir l'interopérabilité, qui considère plutôt 200 md$ annuels d'économie d'économies à faire en éradiquant les problèmes d'échanges et de compatibilité :

> « Studies done for CII by NIST (www.nist.gov) indicate that resolution of interoperability issues alone could save SI5.8 billion per year. In fact, the building SMART Alliance (BSA) (www.buildingsmartalliance.org) believes that BIM has the potential to save more than $200 billion per year in construction costs. » (Holness, 2008, p. 29)[396]

Ces pertes seraient essentiellement imputables au compartimentage des étapes du processus de l'organisation séquentielle du travail (Cf. section 3.2.1) qui génèrerait des erreurs et compliquerait les modifications, détectées souvent trop tardivement, et empêche le travail simultané. La modélisation BIM est supposée remédier aux problèmes attribués à l'organisation séquentielle du travail lié aux outils non interopérables qui produit incohérences, erreurs, et redondances. Alcínia Zita Sampaio interprète l'article de Dave Campbell de l'AIA (Campbell, 2007) qui expose la visée d'efficacité et d'optimisation du BIM par l'élimination d'incohérences, de ressaisies et d'autres erreurs, ce que nous associons avec les problèmes d'opérations entre les différents acteurs du domaine :

> « There is currently a shift in the AEC (Architecture, Engineering, and Construction) industry to embrace BIM as a tool that can assist in integrating the fragmented industry by eliminating inefficiencies and redundancies, improving collaboration and communication, and enhancing overall productivity » (Sampaio, 2018, p. 59)[397]

Le gain significatif de productivité de l'« ingénierie concourante », devenue interopérabilité en architecture, semble reposer grandement sur le principe de modélisation 3D comme support commun, et possiblement unique, intégrant toutes les informations relatives au projet. Selon Holness, une plus grande ouverture de l'outil BIM permet aux utilisateurs d'accéder à un continuum d'information de façon interopérable[398], chacun contribuant à informer le modèle, y compris en temps réel :

> « Successful widespread implementation of BIM for fully integrated design depends on the ability of architects and engineers, as a design team, to easily input and exchange data. The key is for the integrated system to continually and dynamically model the building and all of its systems, through daily and seasonal operational cycles. This allows the "what if" scenarios to

[395] Ou ex IAI pour *International Alliance for Interoperability*, consortium d'une quinzaine de major américaines réunies en 1994 sous l'impulsion d'Autodesk pour surmonter les problèmes de compatibilité de formats. BSA a initié le format d'échange IFC. Cf. vidéo (*IFC: where it all started. The end of Babel.,* 1994).

[396] « Des études réalisées pour le CII par le NIST (www.nist.gov) indiquent que la seule résolution des problèmes d'interopérabilité pourrait permettre d'économiser 15,8 milliards de dollars par an. En fait, l'immeuble SMART Alliance (BSA) (www.buildingsmartalliance.org) croit que le BIM a le potentiel d'économiser plus de 200 milliards de dollars par année en coûts de construction. » Trad.Gouezou

[397] « Il se produit actuellement un changement dans le BTP [*AEC. Architecture, Engineering, and Construction*] qui adopte la BIM comme un outil qui peut aider à intégrer l'industrie fragmentée en éliminant les inefficacités et les redondances, en améliorant la collaboration et la communication et en augmentant la productivité globale. » Trad.Gouezou

[398] Ce terme désigne ici la capacité qu'offre le BIM d'exploiter le travail déjà effectué par d'autres, y compris par un continuum d'outils. La compatibilité des différents formats évite les ressaisies inutiles, le travail peut être simultané, la collaboration devient possible.

> be played out using different systems and components and allows them to be evaluated on a first cost, operating cost, and life-cycle cost basis. The industry is far from that point. » (Holness, 2008, p. 40)[399]

Ce point de vue de Holness nous conforte dans l'idée que la qualité de l'interopérabilité liant architectes et ingénieurs instaure les bonnes pratiques dès la conception, bénéficiant aux phases ultérieures de conception et d'exploitation. Outre les économies, Holness considère que l'interopérabilité faciliterait aussi l'exploration en phase de conception créative, permettant d'éprouver des hypothèses de conception (« *what if* »). Cette vision de la modélisation BIM affranchissant des erreurs, incohérences et ressaisies et soutenant la créativité peut paraitre idyllique sachant que, dans la réalité des processus de conception et de construction BIM, nous pouvons observer une persistance de la ressaisie, comme le montrait l'étude d'Aurélie de Boissieu présentée au colloque SCAN14 à Luxembourg - sans publication dans les actes du colloque - révélant qu'en moyenne, les partenaires du projet de TGI parisien de l'agence RPBW[400] produisait chacun près de huit modélisations BIM. De même, le témoignage de cadres d'Eiffage à l'ENSAPL[401] affirmant que, quel que soit le niveau de maturité des modélisations BIM reçues des architectes et bureaux d'étude, le bureau d'étude d'Eiffage ressaisit systématiquement ses modèles structurels pour pouvoir utiliser ses nomenclatures, méthodes et procédure de modélisation, et à la marge pour pouvoir répondre légalement en cas de problème de leurs propres documents. Ainsi, malgré les gains de productivité permis par la modélisation BIM, certaines ressaisies peuvent subsister pour de multiples raisons.

[399] « Le succès de la dissémination et de la mise en œuvre à grande échelle du BIM pour une conception entièrement intégrée dépend de la capacité des architectes et des ingénieurs, en tant qu'équipe de conception, à saisir et à échanger facilement des données. La clé est que le système intégré modélise continuellement et dynamiquement le bâtiment et tous ses systèmes, à travers des cycles opérationnels quotidiens et saisonniers. Cela permet d'élaborer des hypothèses à l'aide de différents systèmes et composants et de les évaluer en fonction des coûts initiaux, des coûts d'exploitation et des coûts du cycle de vie. L'industrie est loin d'en être là. » Trad.Gouezou

[400] Renzo Piano Building Workshop

[401] Colloque « *Le BIM : promesses, réalités et perspectives* » du 23 janvier 2017 (lien déroulé) à l'ENSAPL. Exposés de l'architecte Thibaud Robert TRAA architectes, de Mr. Dominique Naert du CSTB, de MM Bourgeois & Canet d'Eiffage construction, de Pierre-Antoine Sahuc ENSAN Rouen. (lien déroulé)

3.2. Concept d'Interopérabilité

3.2.1. L'interopérabilité : l'ingénierie concourante appliquée à l'architecture.

Qu'est-ce que l'interopérabilité représente pour la conception architecturale? Guersendre Nagy[402] cite le président de Qualibat, Alain Maugard, qui expose clairement le changement de paradigme induit par l'implémentation du BIM tout en insistant sur l'ampleur et les conséquences du passage de l'organisation séquentielle à l'ingénierie concourante :

> « cette nouvelle manière de travailler, collaborative, qui associe tous les acteurs, dont les industriels et les entreprises, n'est pas acquise… justement parce que cette construction/rénovation concourante représente la révolution de notre filière, qui fonctionne par excellence dans un mode séquentiel, plus que tout autre secteur économico-industriel, d'autant plus que nous produisons à chaque fois des prototypes ! Or, ce système séquentiel atteint aujourd'hui ses limites alors que la nouvelle chaîne concourante de la conception-construction-exploitation offre, elle, un grand potentiel d'économies architecturales, de performances et de gestion. C'est à cause de ce mode séquentiel ancré dans nos pratiques professionnelles et juridiques que le bâtiment en France a mis autant de temps pour s'intéresser au BIM et que nous accusons un certain retard… .» (Celnik and Lebègue, 2014, p. 25)

Les limites de la méthode séquentielle proviendraient du compartimentage entre acteurs et de la segmentation entre des phases trop linéaires pour soutenir les échanges entre les acteurs et les rétroactions dues aux modifications constantes. Si l'on admet que l'organisation actuelle du travail est de nature séquentielle, c'est-à-dire que les acteurs de la conception travaillent chacun leur tour selon des phases régies par la loi MOP[403], on peut comprendre qu'elle risque d'être supplantée par l'organisation dite « interopérable » du travail - correspondant aux principes de l'ingénierie concourante - qui sous-tend le BIM comme processus. Cette « concourance » permet le travail simultané des équipes. Rolland Billon, vice-président de Médiaconstruct, et de Jacques Grandjean, responsable des pôles Master et Master spécialisés à ENPC et Lebègue recueillent les propos explicites de Thierry Parinaud décrivant l'organisation séquentielle du processus de conception en France, incriminant la loi MOP et la formation en ENSA :

> « ces multiples partenaires se concurrencent et travaillent avec des outils distincts et des pratiques professionnelles aussi diverses que variées. Aussi, adopter les méthodes de l'interopérabilité est un véritable défi, car son préalable, le travail collaboratif, n'est pas du tout dans notre culture du bâtiment. Ces méthodes et matières techniques sont nouvelles à la fois pour les architectes et pour tous les professionnels de la maîtrise d'œuvre. Ce qui explique une réserve certaine de tous. Or, l'objectif est de maîtriser la complexité des contraintes contradictoires et ce, dès la conception d'une esquisse ! " » (Billon and Grandjean, 2014, p. 343)

[402] Déclaration d'Alain Maugnard, président de Qualibat recueillis dans le cadre d'une table ronde par Nagy.
[403] Cf. Figure 25 [Esquisse (ESQ) ; Avant-Projet Sommaire (APS) ; Avant-Projet Détaillé (APD) ; Etude et plans d'Execution (EXE) ; Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) ; Assistance aux contrats de travaux (ACT) ; coordination et pilotage du chantier (OPC)]

Insistons sur le fait que la loi française régissant l'accès à la commande publique dissocie les rôles, empêchant un architecte de répondre de la bonne tenue de sa structure, tâche incombant à l'ingénieur-structure. Ce découpage linéaire des rôles et des tâches, « à la française », serait donc remis en cause par l'interopérabilité. Les propos de Billon et Grandjean indiquent aussi que la possibilité d'adopter une méthodologie « interopérable » est soumise à celle de pouvoir modéliser un projet via les logiciels *ad hoc*, improprement ou non nommés « BIM ». Le BIM comme méthode serait rendu possible grâce au principe de modélisation tel qu'il régit ces logiciels « BIM » que nous nommerons CAO-BIM. Garber aide à comprendre comment un seul modèle 3D informé peut faire converger toutes les contributions et apports, et supporter toutes les modifications paraît être de nature à faciliter le travail collectif et simultané ; les pratiques collaboratives convergent sur l'objet unique de la modélisation CAO-BIM :

> « The model is shared, and contributed to, by all parties involved in the construction of the building, from architects to engineering consultants, contractors and subcontractors. This suggests a paradigm shift in design procedure and teaching that would involve time-based iteration and testing, not only of design potentials, but also of construction in a virtual environment. Indeed information models foster a kind of automatic coordination and collaboration that, partly due to the medium and partly due to the intentions of designers, has not been seen before in the broader building industry. » (Garber, 2009b, p. 277)[404]

Garber considère que le *gap* rempli par les logiciels de modélisation BIM pour le travail collaboratif explique la convergence entre les acteurs de la conception et ceux de la construction autour du modèle BIM partagé. Le vecteur de cette interopérabilité serait le format d'échange standard et universel IFC qui fournirait un « langage » ouvert susceptible, par exemple, de donner accès à une bibliothèque d'objets 3D en *open source*. Porté internationalement par l'association *Building Smart* et relayée en France par *Mediaconstruct*, ce format peut être décrit comme un format d'échange de divers fichiers, tel que le décrit Bernard Ferries :

> «Un langage commun. L'IAI ne produit pas des logiciels mais des spécifications destinées à faciliter l'échange et le partage d'informations entre logiciels. Le principal résultat des travaux de l'Alliance est un langage qui rassemble aujourd'hui plus de 600 classes d'objets et a pour nom IFC. Le signe officiel signifie « *Industry Foundation Classes* » mais d'autres déclinaisons circulent comme « Information For Construction » […] Depuis octobre 2000 et à la demande des éditeurs de logiciels, le cœur du modèle a été stabilisé pour plusieurs années. Cette partie des IFC appelée plateforme a obtenu l'homologation de l'ISO sous la référence ISO/PAS 16739 en novembre 2002. » (Ferries, 2005, p. 1)

Le format d'échange IFC spécifie les objets en classes, familles, types, types de relations, héritages, arborescence, etc. sans quoi il ne pourrait y avoir de catégorisation et de mesure.

[404] « Le modèle est partagé et enrichi par toutes les parties impliquées dans la construction du bâtiment, depuis les architectes jusqu'aux bureaux d'études, aux entrepreneurs et aux sous-traitants. Cela suggère un changement de paradigme dans la procédure de conception et l'enseignement qui impliquerait une itération et un test basés sur le temps, non seulement des potentiels de conception, mais aussi de construction dans un environnement virtuel. En effet, les modèles d'information favorisent une sorte de coordination et de collaboration automatiques qui, en partie à cause du médium et en partie à cause des intentions des concepteurs, n'a jamais été vue auparavant dans l'industrie du bâtiment en général. » Trad.Gouezou

Nous pouvons noter que ce format réputé universel, doit garantir la liberté des échanges, notamment en s'opposant de fait à toute tendance hégémonique d'un éditeur de logiciel commercial. Nous ne pouvons cependant certifier que l'interopérabilité fondée sur l'usage du format d'échange IFC soit aussi efficace que les circuits fermés des formats propriétaires produits par des éditeurs de logiciels. Nous devons signaler que les logiciels commerciaux et leurs formats propriétaires semblent avoir mieux pénétré les agences d'architecture. Rappelant que l'éditeur Autodesk était l'instigateur en 1994 du consortium IAI, il est aujourd'hui ironique de voir ce format d'échange IFC universel constituer une planche de salut permettant de résister aux tentations supposées, à tort ou non, hégémoniques de grands éditeurs de logiciels comme Abvent ou Autodesk.

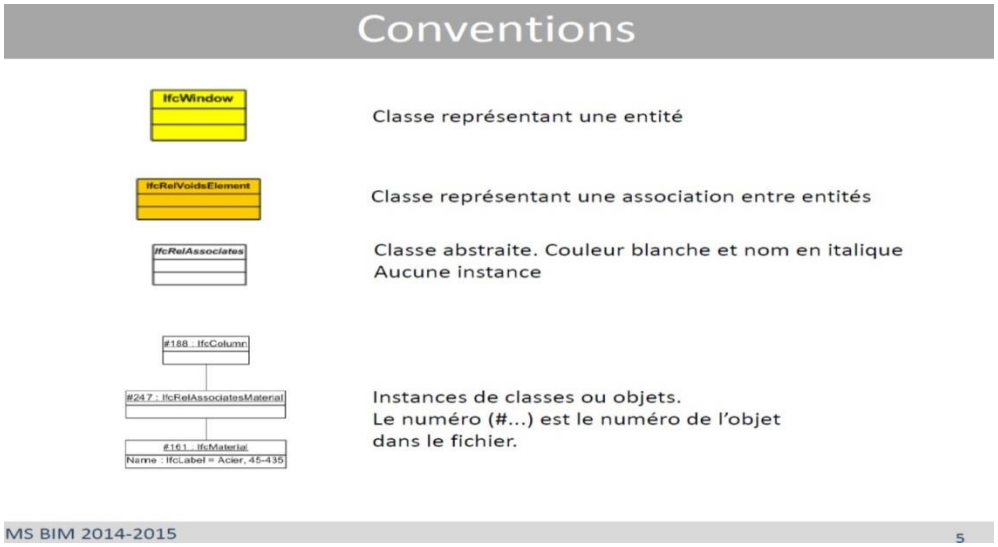


Figure 24 diapositive du TD "Zoom sur les IFC" de Bernard Ferries au MS BIM 2014 de l'ENPC et ESTP. Crédit Bernard Ferries®

Revenant au concept d'interopérabilité, Holzer fait part des doutes de Lawson dont les observations mettent en doute l'efficacité de l'approche interopérable :

> « After 25 years of in-depth observation of the way designers work Lawson concludes that a shared view of the design process is more myth than reality. Lawson further asserts that it is unlikely that efficiency of process would automatically equate with better design (Lawson, "Designers" 258 » (Holzer, 2007, p. 4) [405]

Selon Holzer, Lawson met en doute l'efficacité et l'utilité même de l'interopérabilité, et laisse en suspens la question de la qualité de la conception architecturale qui en résulterait. Entendre ce point de vue critique permet de porter un nouveau regard sur l'implémentation du BIM qui, comme outil ou comme processus, ne remplit pas toutes les promesses d'optimisations affichées. Nous rajoutons aux propos d'Holzer que l'injonction à l'interopérabilité produit

[405] « Après 25 ans de profonde observation de la manière dont les concepteurs travaillent Lawson conclut qu' "une vision partagée du processus de conception est plus un mythe qu'une réalité». Lawson avance plus loin en affirmant qu'il est improbable que l'efficacité d'un processus équivaudrait automatiquement à une meilleure conception. " (Lawson, "Designers" 258)» trad.Gouezou

mécaniquement un affadissement sémantique du projet : pour être échangeable et interopérable, la modélisation doit être mise en ordre, les problèmes doivent être aplanis, les conflits et incohérences doivent être réglés. L'interopérabilité induirait la consensualité de la modélisation BIM conformément à la critique d'Estevez. Nous pourrions opposer le point de vue de l'architecte qui, en tant qu'auteur du projet, sémantise les éléments architecturaux par itérations « conflictualisantes » au point de vue du BIM manager qui doit au contraire arbitrer les diverses contributions pour maintenir la cohérence de la modélisation et du *process* BIM. Nous postulons que cette déconflictualisation requise par l'interopérabilité a pour effet collatéral l'affadissement sémantique du projet.

3.2.2. De l'organisation séquentielle à l'ingénierie concourante

La « numérisation » en cours du domaine architectural conduit, selon Philippe Morel, à une obsolescence du dessin, déclassé par le modèle informatique. Selon lui, elle traduit un glissement du travail solitaire et cloisonné vers une forme plus collaborative permise par la nouvelle approche par modélisation informatique :

> « La problématique de la représentation est aujourd'hui inséparable, comme précédemment évoqué, d'évolutions générales en cours dans la société. Celles qui concernent l'organisation du travail vers un modèle collaboratif, qui implique des échanges constants entre diverses personnes intervenant sur les mêmes documents rendent impossible l'application des méthodologies traditionnelles liées à la représentation. Même au sein d'un dessin informatique simple et bidimensionnel, la mise à jour d'un ordinateur à l'autre de ce dessin, en temps réel ou non, implique une médiatisation de l'information sous forme numérique, l'accès à cette information étant souvent difficile. Si pendant longtemps tout ce qui entourait le dessin était anecdotique par rapport aux opérations de dessin (par exemple choisir les bons instruments et s'assurer qu'ils sont précis) c'est actuellement le " dessin " lui-même qui est anecdotique par rapport au temps passé pour maîtriser ce qui l'entoure. » (Morel, 2012)

Morel insiste sur le rôle décisif joué par la modélisation informatique sur les mutations dans l'organisation du processus de conception. Sous le vocable d'interopérabilité, le BIM comme processus marque l'application à l'architecture du principe d'ingénierie concourante élaborée par l'industrie automobile dans les années 80 pour remplacer l'organisation séquentielle. Selon Midler, repris par Chenafi, l'organisation séquentielle se caractériserait ainsi :

> « Christophe Midler […] a longuement étudié l'évolution des processus de projet. En 1996, dans son ouvrage Modèle gestionnaire et régulation économique de la conception, il a identifié et défini le modèle séquentiel […] sur trois points : une intégration dans l'entreprise de la plupart des expertises nécessaires au développement du projet ; une séparation des expertises entre différents métiers ; une coordination hiérarchique des expertises métiers en vue de réaliser le projet » (Chenafi, 2015, p. 9.10)[406]

La linéarité de l'organisation séquentielle et son compartimentage provoquaient des blocages, limitaient les échanges, retardaient la détection d'erreurs de conception, alourdissaient la mise

[406] (Midler, 1996)

à jour de documents. A contrario, cette approche concourante suppose le co-travail en temps masqué. En tant que processus, le BIM serait l'application à l'architecture d'une mutation préalablement observée dans l'industrie automobile. Sabrina Chenafi relate les travaux de Clark et Fujimoto rendant compte de la mutation vers l'ingénierie concourante :

> « c'est en 1980, dans le secteur de l'automobile, que naissent les origines de l'ingénierie concourante, successeur de l'ingénierie séquentielle. Kim B.Clark et Takahiro Fujimoto, ont dans leur ouvrage Product Development Performance : Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry, porté une étude sur l'industrie automobile au Japon. Ils ont ainsi constaté que le temps de mise sur marché des produits était 25% moindre par rapport à l'industrie automobile européenne ou encore américaine. Selon eux, les raisons étaient les suivantes :
>
> La mise en commun des points de vue dès le début du projet.
>
> L'organisation des départements autour de chefs de projet.
>
> La coordination simultanée des processus de déroulement du projet.
>
> De ce fait, ce sont pour ces raisons, organisationnelles essentiellement, que cette réduction conséquente du temps a pu se mettre en place.» (Chenafi, 2015, p. 13)

Olivier Meier et Guillaume Schier ont retracé les évolutions organisationnelles de l'approche séquentielle à l'approche concourante et rendent compte des recherches afférentes :

> « Dans le modèle taylorien ou séquentiel de gestion de projet, […] le projet passe de métier en métier […] une étape ne peut commencer que si celle qui la précède est terminée. Or […] l'exécution séquentielle des tâches du projet, qui conduit à additionner les durées des tâches et à accroître la durée globale du projet, est devenue une rigidité. Afin de raccourcir les cycles de développement des projets, s'est développé depuis plusieurs années maintenant le modèle du « concurrent engineering » (Clark et Fujimoto, 1991), qui peut être traduit de différentes manières en français : ingénierie concourante, simultanée, intégrée ou encore parallèle […] L'industrie automobile en fut l'une des premières expérimentatrices à grande échelle. […] tous les métiers de l'entreprise travaillent simultanément sur le projet et, de ce fait interagissent de façon continue. Garel (2003) résume les principes managériaux de l'ingénierie concourante en quatre points : un recouvrement des phases, une direction de projet lourde, une coordination de l'activité en «plateau», et un codéveloppement avec les partenaires. L'organisation concourante de l'aval et de l'amont permet alors d'intégrer les besoins de chaque métier le plus tôt possible, ainsi que les fournisseurs préalablement sélectionnés et les clients. Ainsi, l'organisation des projets a induit l'abandon progressif de la logique séquentielle, consistant en une succession de phases dont l'exécution relève des différentes fonctions de l'entreprise, pour céder la place à des processus simultanés de décision au sein d'équipes plurifonctionnelles dotées d'autonomie et de pouvoir de décision accrus. » (Meier and Schier, 2012, p. 66.67)

Chenafi revient sur les origines de de l'ingénierie concourante et l'explique :

> « Dans leur ouvrage *Gestion de l'innovation: Comprendre le processus d'innovation pour le piloter*, Thomas Loilier et Albéric Tellier, définissent l'ingénierie concourante comme un processus ayant pour objectif de "faire participer dès le début du processus d'innovation les différents intervenants dans les opérations ultérieures de fabrication et de distribution du produit nouveau". Le but principal de ce nouveau modèle est simple. Il consiste à régler tous les problèmes du système séquentiel, c'est à dire pouvoir à la fois innover tout en maîtrisant l'ensemble des processus d'un projet. Dès lors, on réduit les délais de développement ainsi

> que l'ensemble des coûts du projet, de sa conception jusqu'à sa distribution et sa maintenance. La métaphore de la course de relais d' Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi, que nous avons évoqué précédemment, va également évoluer. Les deux auteurs japonais vont en 1986, dans leur livre *The New Product Development Game,* nous présenter une nouvelle métaphore s'opposant à la course de relais: l'équipe de rugby. Dans ce sport, chaque joueur progresse en même temps que les autres, et ce constamment, alors que des dizaines de combinaisons restent jouables à tout moment de la partie. Nonaka et Takeuchi le disent eux même: " L'approche course de relais pour le développement de produits peut être en conflit avec les objectifs de vitesse et de flexibilité maximum. A l'inverse, une approche holistique comme celle du rugby (quand une équipe essaie d'avancer en restant unie, en se passant le ballon de main en main) peux mieux servir les exigences de compétitivité d'aujourd'hui"» (Chenafi, 2015, p. 14)

Le BIM marquerait donc l'abandon de l'organisation séquentielle du travail de conception au profit d'une organisation concourante, terme qu'il faudrait remplacer en architecture par *Interopérable,* même si le principe reste le même : un modèle d'organisation de travail collaboratif et en temps masqué[407] *:*

> « L'ingénierie concourante favorise la réalisation simultanée des tâches. Il s'agit, au travers d'un modèle de données d'un projet, grâce à des modèles communs, afin de limiter les ressaisies, redondances et pertes d'informations. L'ingénierie concourante est une nouvelle logique de conduite de projet qui anticipe certaines tâches et décisions pour retarder au maximum celles qui engagent des ressources lourdes et stratégiques » (Celnik and Lebègue, 2014, p. 550)

De son origine industrielle, ce changement constitue intrinsèquement une critique de l'organisation séquentielle supposée faible en termes d'échanges entre acteurs, trop compartimentée, inefficace et insuffisante pour prévenir les erreurs de conception détectées trop tard, souvent sur le chantier et jugée très lourde en termes de mise à jour de documents. Selon Rolland Billon, vice-président de Médiaconstruct et Jacques Grandjean, responsable pôles Master et Master spécialisés à ENPC. Par opposition à la logique séquentielle, l'interopérabilité est supposée faciliter les échanges et les modifications, permettre d'anticiper l'effort de conception en réglant les problèmes plus tôt, et mettre un terme à la débauche de ressaisie des documents induits par les modifications et les échanges ; tous ces efforts d'amélioration convergent vers la modélisation BIM qui en est le référent central. Éric Lebègue oppose ici son analyse des raisons objectives du basculement des logiques séquentielles aux logiques interopérables, insistant notamment sur l'importance du rôle de référent unique joué par le modèle BIM qui épargne au concepteur le temps conséquent perdu en ressaisie :

> «Les cycles de vie d'un projet de construction est traditionnellement basé sur une séquence d'acteurs travaillant avec des logiciels qui leur sont propres et avec lesquels ils sont amenés, la plupart du temps, à ressaisir pour leurs besoins les informations en provenance des autres acteurs. Un travail considérable, où l'on estime que jusqu'à 80% du temps est passé à ces tâches laborieuses (mais facturées) de ressaisies, pour 20% de travail d'analyse, celui le plus intelligent et intéressant. La logique BIM est de placer au centre du projet de construction-et

[407] C'est-à-dire que le travail simultané devient possible. Une équipe n'est pas bloquée dans sa progression si une équipe précédente, comme ce serait le cas pour le mode d'organisation « séquentiel ».

> tout au long des cycles de la conception à la construction puis l'exploitation- un unique référentiel pour toutes les applications et tous les acteurs : il n y a plus de ressaisie mais un modèle de données riche et fiable favorisant une conception rationnelle et maîtrisée, respectueuse des exigences d'économie d'énergie et de développement durable » (Celnik and Lebègue, 2014, p. 75)

Cette critique des ressaisies, des erreurs de transmission et des modifications induites par les documents de représentation est un argument majeur expliquant l'intérêt de l'interopérabilité. Chenafi synthétise le problème des ressaisies :

> « […] un problème majeur de ressaisie apparaît aussi dans le processus séquentiel d'un projet d'architecture. En effet, les corps de métier intervenants et plus particulièrement celui de l'ingénieur, prend place tardivement dans la Phase de Conception, le plus souvent, à la fin de cette dernière […]. Le fait que l'ingénieur ne prenne conscience du projet qu'à la fin de cette phase, va engendrer de multiples ressaisies, prolongeant alors cette phase de manière conséquente afin d'assurer la meilleure entrée possible en Phase d'Exécution. » (Chenafi, 2015, p. 16)

Kiviniemi a argumenté qu'il est nettement plus facile de modifier un modèle 3D d'un projet d'architecture donné que de modifier une multitude de documents 2D, donc que l'approche par modélisation 3D simplifie le processus de mise à jour du projet comparativement à l'approche par documents 2D, car dans ce dernier cas un élément donné, au lieu de n'être modélisé qu'une seule une fois, sera représenté de multiples fois. Ainsi, la modélisation, en centralisant l'attention des acteurs qui regardent dans le même sens, sur un objet unique, serait une clé de l'interopérabilité à mesure que le modèle devient la référence pour les acteurs de la conception. Le graphique de la courbe de Mac Leamy, cadre de l'IAI, l'ordre des architectes américains, exprime l'anticipation de l'effort de conception que permettrait le BIM. Rapprochant les acteurs de la conception et de la construction, la modélisation BIM rend possible le travail simultané, en temps masqué, la détection d'erreurs survient plus tôt, permettant d'optimiser le temps et les coûts. Richard Garber attribue les gains de productivité du BIM aux logiciels :

> « these technologies allow for a medium in which notions of creativity and innovation merge through performance operations, cost efficiencies, and material and system simulations that are iterated digitally throughout the design process as opposed to in the field during construction, where finding errors or conditions not properly coordinated could lead to costly expenditures in terms of time and budget » (Garber, 2009b, p. 227)[408]

Ce sont les logiciels de CAO-BIM qui fondent l'interopérabilité qui soutient la collaboration entre les métiers de conception et de construction. Garber n'oppose pas les aspects créatifs de la conception architecturale aux autres aspects performanciels, il épouse en cela l'idée de la courbe de Mac Leamy que l'ingénierie concourante remplace la phase solitaire de conception

[408] « ces technologies permettent des conditions dans lesquelles les notions de créativité et d'innovation se fondent grâce à des opérations de performance, des économies de coûts et des simulations de matériaux et de systèmes qui sont itérées numériquement tout au long du processus de conception plutôt que sur le terrain pendant la construction, où la recherche des erreurs ou des conditions mal coordonnées pourrait entraîner des dépenses coûteuses en termes de temps et de budget. » Trad.Gouezou

créative qui ne concernait que l'architecte (courbe noire Figure 25) par une phase de créative immédiatement ouverte aux autres métiers dont les contributions (*inputs*) sont supposés soutenir plus tôt (courbe rouge Figure 25) la justesse de la créativité de l'architecte. Nous voyons que l'approche de l'ingénierie concourante doit permettre une anticipation de l'effort de conception, la courbe rouge survenant avant la noire. Ils peuvent y travailler simultanément, en temps masqué et plus en amont qu'en mode séquentiel : l'effort de conception est anticipé conformément à ce qu'exprime Mac Leamy de l'AIA avec sa courbe éponyme.

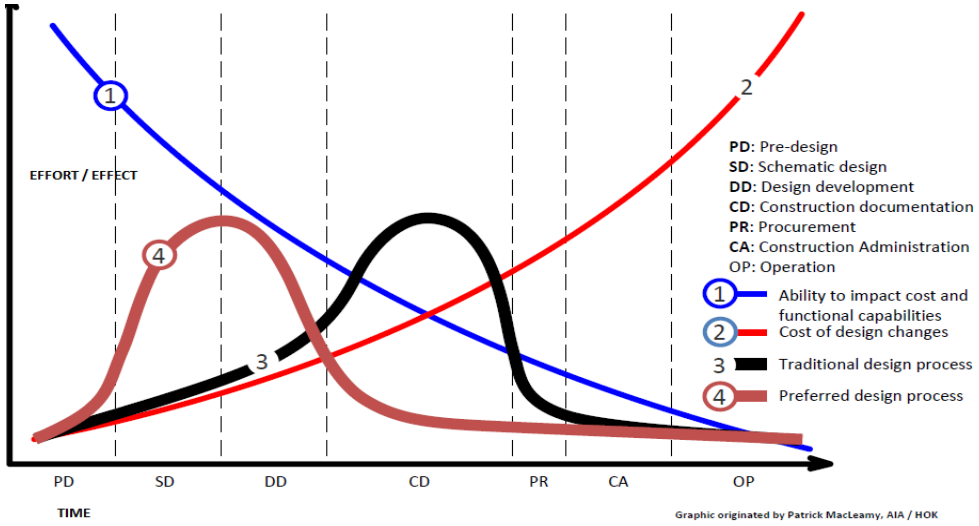


Figure 25 courbe de Mac Leamy. Voici les phases françaises et leur équivalent américains: Esquisse (ESQ)=Pre design (PD), Avant-Projet Sommaire (APS)=Schematic Design (SD), Avant-Projet Détaillé (APD)=Design Devlopment (DD), Etude et plans d'Execution (EXE)=Construction Documentation (CD), Dossier de Consultation des Entreprises (DCE)=Procurment (PR), Ordonnancement, Assistance aux contrats de travaux (ACT)=Construction Administration (CA), coordination et pilotage du chantier (OPC)=Opération (OP)

Cette courbe de Mac Leamy illustre l'anticipation de l'effort de conception qu'induirait une méthode de conception BIM. Pour saisir l'effet majeur du BIM en tant que processus, on peut considérer comme Nonaka et Takeuchi qu'il nous fait passer de la métaphore de la course de relai pour décrire l'approche séquentielle à celle du match de Rugby pour décrire l'approche concourante. :

> « Dans leur ouvrage *Management du changement : changement culturel et organisationnel*, Olivier Meier et Guillaume Schier, présentent l'étude de Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi, [qui] ont utilisé la métaphore de la course de relais pour définir le système séquentiel. Dans la course de relais, chaque coureur est à son poste, selon ses capacités sportives, attendant le témoin. Les membres de l'équipe s'élancent les uns après les autres et c'est seulement lors de la transmission du témoin que le coureur suivant peut s'élancer. Et il en est de même pour le mode de l'ingénierie, où chaque projet passe de département en département. Ces départements sont spécialistes d'une seule tâche qui leur est spécifique. » (Chenafi, 2015, p. 14) [409]

Le BIM en tant que processus apparaît régi par un souci d'optimisation du temps et des efforts pour le travail collaboratif. Le BIM impacte les habitus d'une profession en termes et le temps

[409] (Meier and Schier, 2012)

qui est un paramètre fondamental du processus de conception de l'architecture[410]. Rappelons, à ce titre, que le secteur du BTP qui représente environ 10% du PIB européen et concerne directement 20 millions de la population active[411], soit 10% de la population active[412] est aussi le secteur où la valeur ajoutée est la plus faible[413]. Comptablement, les enjeux du secteur sont donc clairs, il s'agit de gagner en productivité, ce qui se traduit par un gain de temps à tâche égale. Il est convenu, notamment par l'AIA[414], que le BIM tend à accélérer les prises de décision, peut-être aux dépens de la réflexion, selon la courbe de Mac Leamy, le BIM permet une anticipation des décisions de conception. Si nous réduisons ce concept d'*interopérabilité* à la facilitation des échanges, des modifications, à l'anticipation des efforts de conception, notamment des décisions, afin de régler les problèmes plus en amont, et si nous réduisons la modélisation BIM à l'avantage de réduire les ressaisies des documents induites par les modifications et les échanges grâce à une focalisation sur le seul modèle BIM, nous pourrions en déduire que ce concept d'interopérabilité et le principe de la modélisation croisent les question du travail collectif et du temps, orientés pour permettre un gain de productivité. A ce stade, il nous semble possible de dire que si les optimisations du processus de conception permis par l'interopérabilité et par la modélisation BIM sont profitables, elles posent aussi la question des premières phases « créatives » du projet qui, peut-être, ne nécessiteraient ni d'aller vite, ni de travailler collégialement[415]. Holzer indiquait dès 2007 l'inquiétude des architectes à l'égard du BIM, notamment sur la question du contrôle et de la répartition des tâches :

> « The often un-answered question is the one about who actually produces the BIM model and who controls it. The current notion is that the architect – in his/her traditional role as project coordinator should be the one to do the work. There does not seem to be a clear indication that this reflects reality on a global level. The distribution of roles is much rather dependant on the level of BIM skills and contractual frameworks in individual countries. A certain reluctance to do the BIM work is apparent amongst architects as they often do not see the advantages it may bring to their work » (Holzer, 2007, p. 3) [416]

Holzer considère que la responsabilité de la modélisation BIM devrait incomber aux architectes qui ne semblent pas encore convaincus par le BIM en 2007. On observe depuis que les écoles comme les agences d'architectures s'emparent du sujet BIM. Tout en reconnaissant la force des

[410] Il ne s'agit clairement pas d'un secteur émergent, à très haute valeur ajoutée, où les investisseurs seraient prêts à toutes les patiences.
[411] Cité du Design, *Rapport complet economie du design*, 2012: http://www.citedudesign.com/doc_root/2012/designers/501bd954bb6db_rapport_complet_economie_du_design.pdf
[412] INSEE website : http://insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=98&ref_id=CMPFPS03138
[413] Assertion de Philippe Morel intervenant au LACTH, à l'ENSAPL, le 20 avril 2016. Nous n'avons pu la corroborer par d'autres sources mais elle reste plausible.
[414] American Institut of Architecture. La courbe Mac Leamy de l'AIA l'anticipation - ou stress - de l'effort de conception.
[415] Il n'est pas illégitime de questionner les discours sur de supposées « innovations » surtout si leur corrolaire est une forme de dérégulation. Dans le cas du BIM, nous devons nous attendre à ce qu'il justifie de déréguler, par exemple, la très séquentielle loi MOP qui protège pourtant les architectes.
[416] « La question souvent sans réponse est celle de savoir qui produit réellement le modèle BIM et qui le contrôle. L'idée actuelle est que l'architecte - dans son rôle traditionnel de coordinateur de projet - devrait être celui qui fait le travail. Il ne semble pas y avoir d'indication claire que cela reflète la réalité au niveau mondial. La répartition des rôles dépend beaucoup plus du niveau des compétences BIM et des cadres contractuels dans les différents pays. Une certaine réticence à faire le travail BIM est apparente chez les architectes car ils ne voient souvent pas les avantages qu'il peut apporter à leur travail. » Trad.Gouezou

arguments de Girard voulant que les simulations du modèle numérique induisent une remise en cause du rôle et statut de l'architecte, nous faisons valoir que le point de vue généraliste, non « expert » de l'architecte, est fondateur de la qualité du projet architectural. Girard pense que :

> « Le roi est nu. Et l'ingénieur semble prêt à lui prendre définitivement sa place. Un acronyme s'est répandu rapidement pour désigner ce qui se solidifie en nouvelle norme devenue incontournable : le BIM, *Building Information Modeling*, vocable transparent pour exprimer la base de données 3d enrichie et partagée par tous les intervenants d'un projet de construction. Le BIM capitalise et condense depuis deux ou trois ans tout ce que les développements des logiciels paramétriques et associatifs ont défriché dans la décennie précédente. » (Girard, 2014a, p. 256)

Le simulât donne une vision dynamique du projet, montrant séance tenante les résultats et conséquences de telle décision de conception, augmentant sans doute ainsi l'espace de solution du concepteur, mais le déchargeant aussi de certaines responsabilités. L'intuition et le savoir-faire de l'architecte seraient moins mis à contribution, le risque serait limité mais, ce faisant, en rassurant, présenterait aussi le désavantage de rendre les tâches d'exploration plus ennuyeuses, la maîtrise ayant aussi pour corolaire l'ennui. Est-ce à dire que le BIM correspondrait plus à la construction qu'à la conception ? à une vision d'ingénieur qu'à une vision d'architecte ? En offrant aux experts la possibilité de travailler simultanément avec l'architecte, le BIM entérine *de facto* le travail en temps masqué qui bouscule, par incursion des experts, les premiers temps de réflexion et d'inspiration habituellement dévolus à l'idéation par l'architecte. Au lieu du recueillement relativement solitaire habituel, l'interopérabilité permet à chaque expert d'accompagner - et peut-être de défier - l'architecte avec sa « vision métier » et son organisation « séquentielle » adaptée au cadre français de la loi MOP. Mais l'aptitude générale de synthèse serait propre à l'architecte dont les compétences intégratives semblent devoir échapper aux divers spécialistes du bâtiment (en structure, thermique, électricité, économie etc.) qui, de par leur « vision métier », resteraient éloignés de cette responsabilité de devoir embrasser la totalité du projet et de la « dure obligation du tout » dont parlait Venturi[417]. Un monde d'experts doit pouvoir être contesté si l'on souhaite pouvoir penser hors des « silos » des spécialités :

> « Dans ce monde laissé pour compte, il n'y a plus que des spécialistes. Les spécialités séparent l'homme de tous les autres hommes. ». (Picabia, 1998)

L'ingérence prématurée d'acteurs du bâtiment dans le travail de l'architecte pose question, pouvant invoquer trop tôt des arguments réalistes en phase de préconception pour les tâches d'idéation créative qui semblerait plutôt requérir un certain flou conceptuel et graphique, propre à la genèse architecturale. Au fond, le problème qui sous-tend cette recherche est celui de la logique de modélisation éclipsant celle de représentation, et de la perte latente du dessin à la main qui pourrait en résulter.

[417] Expression marquante extraite « De l'ambigüité en architecture» de Robert Venturi dans (Philippe Boudon, 2003b)

3.3. Modélisation BIM : la fin de la représentation ?

3.3.1. Concevoir sans dessiner ?

Il paraît difficile d'envisager le domaine architectural, l'architecte, ses méthodes de conception le projet, etc. en éludant le dessin d'esquisse qui en est un mode d'expression majeur. Goldschmidt expose le principe de représentation pour la conception comme allant d'un processus privé rendu public par l'image, suggérant que le « cœur de métier » du concepteur architecte serait la production de représentations de conception :

> «Designers represent – and design representations are made – before, during, and after the process of designing any entity, regardless of whether the designed entity is being constructed, manufactured, or assembled as a "real" product. In fact, the ultimate design goal is to arrive at a satisfying representation of the designed entity: bringing the "real" entity into being is a task that usually falls into realms other than design, and actors other than designers (e.g., builders and manufacturers) are responsible for it. We may argue that to design is to represent, and in no case is there design without representation. » (Goldschmidt, 2004, p. 203) [418]

L'architecte vise une représentation satisfaisante du projet selon un principe d'équivalence incontournable puisque, selon Goldschmidt, il ne pourrait y avoir de conception sans représentation. La médiation du dessin d'architecte - relativement comparable à celle d'une partition de musique - le poserait comme moyen menant à l'œuvre. La nature ambigüe de l'architecture exprimée par le « à la fois » de Robert Venturi serait observable dans l'approche par représentation qui présente des hiatus entre ce qu'elle présente et ce que l'architecte veut qu'elle représente. Selon Estevez la conception architecturale requiert une forme de dissension dans ses formes représentées. Ce *medium* dissensuel[419] dont parle Estevez suppose plus une approche de confrontation que de résolution de problème :

> « La conception fonctionne au contraire exactement sur le modèle d'une conversation avec la situation. Il lui faut des obstacles» in (Estevez, 2013a, p. 7)

Goldschmidt le qualifierait de dialectique. La nature du dessin d'esquisse serait d'être ambivalente - voire ambigüe - dissensuelle, dialectique. Considérant le dessin libre dans cette dimension « dialectique », nous supposerons que c'est ainsi que l'architecte met au point ses idées et, par extension, qu'il conçoit « cycliquement » son projet :

> « […] sketching is thinking. The search cycle ends when the designer is ready to attempt a 'hardline' drawing » (Goldschmidt, 1991a, p. 130) [420]

---

[418] « Les concepteurs représentent - et les représentations de conception sont faites - avant, pendant et après le processus de conception de toute entité, qu'elle soit construite, fabriquée ou assemblée comme un produit " réel ". En fait, le but ultime de la conception est d'arriver à une représentation satisfaisante de l'entité conçue : la réalisation de l'entité " réelle " est une tâche qui relève habituellement d'autres domaines que la conception, et des acteurs autres que les concepteurs (par exemple, les constructeurs et fabricants) en sont responsables. On peut soutenir que la conception consiste à représenter, et en aucun cas il n'y a de conception sans représentation. » Trad.Gouezou

[419] « La conception fonctionne au contraire exactement sur le modèle d'une conversation avec la situation. Il lui faut des obstacles» in (Estevez, 2013a, p. 7)

[420] « dessiner une esquisse revient à penser. Le cycle de recherche se termine lorsque le concepteur est prêt à tenter un dessin «au trait» Trad.Gouezou

Certes, ces traits ou *hardline* n'empêchent pas d'éventuelles remises en question mais ils tendent clairement à marquer une étape franchie dans le processus de conception. Comme cette mise au net en *hardlines*, la modélisation BIM constitue un seuil de maturation des idées. Il subsiste des grandes possibilités de modification, étant paramétrable et dotées d'un système de chaînages de contraintes particulièrement performants[421]. Le *versioning* est un atout du BIM, mais le caractère visuellement univoque et formellement parfait, comme achevé, mis au propre, de la modélisation BIM s'impose au détriment d'une dimension exploratoire propre au dessin d'esquisse, nous parlerions d'un effet d'aboutissement ou effet de fini pour décrire l'aspect d'une modélisation BIM. Nous dirions qu'elle discrétise, décompose et détaille exhaustivement les composants architecturaux, qu'elle semble analytique comme l'entend Le Moigne

> « Quelque soient les phénomènes auxquels on s'intéresse, de la biologie à l'anthropologie, veillons à ne pas d'abord les séparer « *en autant de parcelles qu'il se pourrait* ». Au contraire, contextualisons-le. Représentons-le dans ses interactions avec ses contextes. Donnons-nous le projet de percevoir des actes et pas des choses. Projet de représentation, qui va nous amener à restaurer, à réinventer parfois, à côté de la modélisation analytique qui nous est familière, l'antique tradition de la modélisation systémique. » (Le Moigne, 2001, p. 8)

La modélisation BIM, en tant que modèle informatique, semble incapable d'intégrer ces dimensions ambigües, dissensuelles et dialectiques qui caractériseraient le dessin d'esquisse; elle semble répondre, mais pas questionner, semble favoriser le « ou » plutôt que le « et », conjonction chère à Deleuze, dont on retrouve le principe conjonctif de Venturi. La monosémie visuelle qui résulte de la modélisation BIM casserait l'ambiguïté présente dans le dessin d'esquisse et, ce faisant, grèverait la marge interprétative permettant l'imagination d'alternatives ainsi que la délibération de l'architecte, elle neutraliserait le conflit sous-jacent dans la question du projet, évacuerait la question du sens et oblitèrerait la dialectique du projet permise par le dessin d'esquisse. Inapte à intégrer l'ambigüité, interdisant la polysémie ou tout repentir[422], la modélisation BIM agirait comme s'il fallait d'emblée mettre au propre ses idées, et solutionner immédiatement le problème. En phase d'exploration et d'idéation, où règne l'indétermination, l'attribution d'une valeur architecturale à un artefact graphique est logiquement plus instable ou incertaine car elle intègre la précarité de la chose en train d'être conçue, l'ambivalence - comme valeur double - l'ambigüité - comme valeur contradictoire - ainsi que l'indécision - un non-choix - et les nuances, etc. L'attachement à la pluralité des points de vue adoptés pour considérer un problème de conception donné conditionne la robustesse d'une idée envisagée, un *medium* versatile permettant de changer de vue permettrait une conception plus critique, et peut-être plus mature. Baskinger plaide en faveur du dessin d'esquisse à la main dans ce sens, laissant supposer que le dessin d'esquisse doit favoriser la délibération entre plusieurs points de vue distincts :

[421] Le chainage des contraintes permet de répercuter une modification d'un élément -admettons un niveau d'étage- sur les autres éléments (e.g. les murs, hauteurs de planchers, hauteurs d'allèges, etc.
[422] Dans les écoles des Beaux-Arts, le repentir désigne, selon le glossaire en ligne du site du Palais des Beaux-Arts de Lille, le repentir est, « en peinture, [la] correction apportée par le peintre lui-même ».

> « There is only one rule when drawing to capture ideas: Each idea must be explored from many different perspectives. Too often people try to capture an idea with one solitary sketch that edits the amount of information. Drawing ideas in variations, details, and from multiple viewpoints can enhance communication and enable the author to think more critically about the completeness of an idea as well as to provide reference points to more effectively express each thought. » (Baskinger, 2008, p. 29) [423]

L'état d'inachèvement des représentations graphiques de conception, leur aspect de brouillon, garantit un état d'équilibre entre les informations contenues et les problématiques portées par le concepteur :

> « representations are support for exploration they are required to be unfinished and bear a certain degree of abstraction (Buxton, 2007; Purcell & Gero, 1998). To summarize, an optimal design representation has a good balance between the information it conveys and the questions it enquires according to its time framing in the design process. Representations are a formal hypothesis generation and evaluation tool. They enable the identification of defects and assets as well as open the dialog over design attributes. Working on the products experience implies a media that enable the proposition and modification of high level design information such as semantic, sensorial, emotional information (Bouchard et al., 2007, 2010; Kim, 2011; Mougenot, 2008). » (Rieuf et al., 2017, p. 46) [424]

En résumé, une représentation optimale de la conception équilibre l'information qu'elle véhicule et les questions qu'elle pose en fonction de son cadrage temporel dans le processus de conception. Selon Catherine Deshayes qui considère le caractère fragmentaire du dessin d'esquisse à la main comme fondamental : en tant que fragment « interprété » par l'architecte, le dessin d'esquisse permet la progression incrémentale du projet passant progressivement du « flou » à la définition :

> « ici l'objet in-forme et épuré matérialise un complexe d'idées. C'est dans la concentration et la concaténation de l'évident et de l'adéquat qu'il faut comprendre l'esquisse. C'est une réduction de la pensée à l'essentiel et au pertinent dans un temps réduit sous-tendu par l'intention de saisir un maximum d'informations à un instant donné. Parallèlement, la réduction du temps et la perte de précision dans le dessin permet d'effectuer cette concentration à l'essentiel de la pensée. Par ailleurs, le flou et l'imprécision de la forme permettent ou laissent une ouverture pour une complétude à venir» (Deshayes, 2014, p. 77)

---

[423] « Il n'y a qu'une seule règle quand on dessine pour capter des idées : chaque idée doit être explorée sous de nombreux points de vue différents. Trop souvent, les gens essaient de saisir une idée avec une seule esquisse. Dessiner des idées en variations, en détails et à partir de points de vue multiples peut améliorer la communication et permettre à l'auteur d'avoir une pensée plus critique sur la complétude d'une idée ainsi que de fournir des points de référence pour exprimer plus efficacement chaque pensée. » Trad.Gouezou

[424] « Les représentations sont un support à l'exploration, elles doivent être inachevées et présenter un certain degré d'abstraction (Buxton, 2007 ; Purcell & Gero, 1998). En résumé, une représentation optimale de la conception a un bon équilibre entre l'information qu'elle véhicule et les questions qu'elle pose en fonction de son cadrage temporel dans le processus de conception. Les représentations sont un outil formel de génération et d'évaluation d'hypothèses. Elles facilitent l'accès à l'identification des défauts et des atouts et ouvrent le dialogue sur les attributs de conception. Travailler sur l'expérience des produits implique un média qui permet la proposition et la modification d'informations de conception de haut niveau telles que des informations sémantiques, sensorielles, émotionnelles (Bouchard et al., 2007, 2010 ; Kim, 2011 ; Mougenot, 2008). » Trad.Gouezou

Par son inachèvement, le dessin d'esquisse sert à étudier rapidement une option tout en n'hypothéquant pas d'autres options, et il porterait une part des problématiques qui donnent son sens au projet. Il porte les hypothèses de conception, révèle les problèmes et les opportunités pour conjecturer et modifier des idées de conception. Si l'on se réfère à la lecture que Christian Girard fait de l'approche de Varenne, la généralisation des simulations permises par les modèles informatiques conduisent à un abandon progressif des logiques de représentation au profit de la modélisation. Girard argumente que ce changement permet d'évacuer la représentation comme falsification métaphorique, qui nous semble pourtant essentielle à l'idéation :

> « Le produit et résultat de la simulation, le simulât, est doté de l' « *épaisseur d'une entité concrète* ». L'expression retient l'attention car qui dit « *entité concrète* » n'est pas loin de désigner une entité tangible, qu'on peut éprouver, tester, une entité non réductible à ce qui est de l'ordre de l'imaginaire, à ce qui resterait de la représentation. Le concret ne peut alors être que le réel lui-même et la simulation numérique accède à ce réel. Si donc on peut parler de « la simulation conçue comme expérience concrète », et même si cette expérience est de « second ordre », au final on quitte bien le domaine de la représentation pure et simple. » (Varenne, 2003) in (Girard, 2014a, p. 249)

Cette proposition relativement radicale nous est utile parce qu'elle clarifie les enjeux de l'informatisation du processus de conception. Elle paraît discutable dans son rapport absolu au réel présenté ici comme la valeur ultime. On retrouve une vision semblable chez Garber:

> « In the contemporary virtual to actual paradigm, interpretation is no longer required because digital information models are already inherently real » (Garber, 2009a, p. 239)[425]

Le principe de réalité semble s'imposer aux yeux de Girard ou Garber, il est pourtant discutable même si ce n'est pas l'objet de notre étude, un penseur comme Wittgenstein pourrait opposer qu'il n'existe pas une description objective du réel. Rappelons également que le travail de l'architecte consiste aussi à transformer réel, d'en proposer une autre vision. Il est facile d'admettre que la modélisation BIM, pensons-nous à la suite de Holzer ou Kiviniemi, facilite les modifications grâce à un modèle unique devenu le point de focalisation du concepteur qui est de surcroit déchargé des tâches de production et de mise à jour des trop nombreux documents qu'impose l'approche par représentation. Il est plus difficile d'admettre la modélisation BIM comme l'écho d'une réalité incontestable. Le principe de pertinence formulé par Boudon serait, par exemple, tout aussi opposable que celui de réalité pour évaluer une qualité architecturale. Boudon et Pousin considèrent que le dessin d'esquisse consacré à la conception architecturale est fait d'aller-retour entre l'inscription d'intentions de l'architecte et la lecture de ce qui en résulte, chaque objet graphique rendant saillant une caractéristique donnée qui appelle le croquis suivant :

> « [Il] motive l'enchaînement des figures, voire la production graphique dans son ensemble. C'est bien l'interprétation de ce qui a été inscrit qui sollicite un tracé second. Dans ce cas, la figure seconde renseigne sur la figure première. » (Boudon and Pousin, 1988, p. 81)

[425] « Dans le paradigme contemporain du virtuel à l'actuel, l'interprétation n'est plus nécessaire parce que les modèles d'information numérique sont déjà intrinsèquement réels. »Trad.Gouezou

L'alternance entre deux points de vue, l'un plutôt actif tendant à inscrire graphiquement des intentions conceptuelles, appelant l'autre point de vue, plutôt passif, consistant à lire ou analyser un croquis. Nous supposons que les dessins d'esquisse réifient le *projet* architectural, et nous supposons qu'il rend tangible la relation triadique entre l'architecte, son projet, et sa construction. Nous supposons aussi que ce projet architectural est l'intercesseur privilégié entre l'architecte et son bâtiment. Si la modélisation prend le pas sur la représentation et marginalise potentiellement le dessin, elle oblitèrerait une pratique des représentations profondément ancrée dans le métier d'architecte.

3.3.2. Essoufflement de l'approche par représentation

L'essoufflement de l'approche par représentation au profit de celle par modélisation est observable en école et agence d'architecture et peut être expliqué du point de vue des nombreuses modifications survenant tout au long du projet architectural. Une modification sur un projet dessiné sur Autocad® déclenche une succession d'actions complexes et inutiles, pénibles. En cas de modification, e.g. d'une fenêtre ou d'une gaine de ventilation déplacée, la première action consiste à identifier les fichiers incriminés, ce qui est déjà fastidieux. Au sein d'ANMA, nous avons pu observer qu'un projet repose en moyenne sur au moins une douzaine de documents graphiques différents (au moins autant de plan que de niveau, en moyenne 4 plans, 5 coupes au minimum, et 4 élévations au minimum). Une fois cette phase d'identification achevée, les modifications doivent être saisies. Une phase de vérification doit permettre d'entériner les modifications entreprises. Ces enchainements périlleux mobilisent beaucoup de personnes, d'attention et d'énergies sur des tâches ingrates et inutiles, à faibles valeur ajoutée. Nous avons pu observer chez ANMA une situation comparable une fois l'approche par modélisation BIM implémentée, avec moins d'agitation et plus de facilité, des modifications ont pu être appliquées à même le modèle 3D avant l'enregistrement du fichier marquant la validation de ces modifications et la mise à jour automatique consécutive. Dès 2007, Holzer signalait déjà la supplantation des outils de CAO en 2D au profit d'outils de modélisation BIM pour faciliter les échanges d'informations :

> « In contemporary building practice, the hegemony of 2D-based design communication is gradually being challenged by the possibilities offered by integrated 3D design environments and digital interfaces. The upcoming application of building information modeling (BIM) offers a way out of the current Babylonian plurality of non-compatible modeling-languages in order to push software developers and users to convert towards one common industry standard for data exchange » (Holzer, 2007, p. 3) [426]

[426] « Dans la pratique contemporaine du bâtiment, l'hégémonie de la communication 2D est progressivement remise en question par les possibilités offertes par les environnements de conception 3D intégrés et les interfaces numériques. L'application prochaine de la modélisation de l'information du bâtiment (BIM) offre un moyen de sortir de la pluralité babylonienne actuelle de langages de modélisation non compatibles afin de pousser les développeurs et utilisateurs de logiciels à se convertir vers une norme industrielle commune pour l'échange de données. » Trad.Gouezou

Holzer considère que la modélisation BIM constitue le moyen majeur d'atteindre l'interopérabilité en supportant notamment l'essentiel des besoins documentaires de l'architecte. Grâce à l'automatisation des documents tirés de la modélisation, le modèle BIM est devenu la matrice de tous les documents graphiques et écrits du projet d'architecture. Il contiendrait l'essentiel, si ce n'est toutes les informations nécessaires à la construction du bâtiment. Celnik et Lebègue actent l'abandon du paradigme traditionnel par représentation, pointant explicitement l'utilisation analogue à la table à dessin du logiciel Autocad :

> « Le passage de la logique en 2D d'une « planche à dessin électronique » (Autocad ou équivalents) à celle du logiciel d'architecture donnant une « maquette numérique bâtiment virtuel » : dans le second cas, une seule base de données contient l'ensemble des informations du projet » (Celnik and Lebègue, 2014, p. 38)

Celnik et Lebègue nous aident à comprendre en quoi le modèle BIM constitue l'équivalent 3D d'un carnet de bord du bâtiment qu'il tend à reproduire exhaustivement, à d'identique, en reprenant dans le moindre détail les informations caractérisant chacun des éléments réunis (position, taille, surface, prix, quantité, performances thermiques, acoustiques, instruction pour la fabrication etc.). La visée de cette modélisation BIM est d'aider le concepteur à concevoir, l'entreprise à construire et l'exploitant à maintenir l'œuvre. Arto Kiviniemi et Martin Fisher tranchent au sujet du dépassement de l'approche par *représentation* des ouvrages par l'approche par *modélisation* BIM, arguant que l'implémentation d'une modification sera toujours plus simple sur un modèle 3D que sur une multitude de documents en 2D :

> « The root of the problem lies in reducing a complex 3D object, the building, into multiple 2D representations, the drawings. This means that the same elements must be represented in several documents. As a simple example, the horizontal position of a window is presented in the plan, and its vertical position in at least one elevation and one section and often in several elevations and sections depending on the building geometry […] It is easy to understand that this complicated and fragmented documentation is a problem. Any change can affect tens of different documents, and there are hundreds or thousands of changes during a project. It is extremely difficult to remember or recognize all the documents which must be updated » (Kiviniemi and Fischer, 2009, pp. 43–44) [427]

Les auteurs expliquent parfaitement comment la focalisation de l'attention des concepteurs sur l'unique objet du modèle 3D grâce à la délégation et automatisation de la production et de la tenue à jour des documents au logiciel de modélisation BIM. La modélisation BIM facilite les nombreuses modifications et les échanges. Il n'est pas dit ici que le privilège du dessin accordé à l'architecte prend aussi fin avec la modélisation BIM si la modélisation BIM est effectivement

[427] « La racine du problème réside dans la réduction d'un objet 3D complexe, le bâtiment, en de multiples représentations 2D, les dessins. Cela signifie que les mêmes éléments doivent être représentés dans plusieurs documents. A titre d'exemple simple, la position horizontale d'une fenêtre est présentée dans le plan, et sa position verticale dans au moins une élévation et une section et souvent dans plusieurs élévations et sections selon la géométrie du bâtiment (...) Il est facile de comprendre que cette documentation complexe et fragmentée constitue un problème. Tout changement peut affecter des dizaines de documents différents, et il y a des centaines ou des milliers de changements au cours d'un projet. Il est extrêmement important de se rappeler ou de reconnaître tous les documents qui doivent être mis à jour. » trad.Gouezou

partagée. La modélisation BIM semble constituer une grande amélioration sur ce point précis : en libérant les architectes de la corvée de la mise à jour continuelle des documents graphiques ou écrits. Cette délégation des tâches répétitives et fastidieuses à la machine évoque l'interview[428] de Berry (Berry, 2016) où il décrit l'adéquation de l'informatique pour traiter rapidement et sans erreur une grande quantité d'informations avec le caractère plus intuitif, créatif et faillible typiquement humain. D'un autre côté, Holzer avertit aussi du danger de surestimer le potentiel du BIM, notamment les tâches créatives pour lesquelles, selon lui, il n'est pas performant. Au-delà, Holzer résume ici les caractéristiques du BIM sur lesquelles nous nous focaliserons, comme le remplacement de la *représentation* par la *modélisation*, l'interopérabilité et l'approche collaborative, la puissance de l'organisation des informations par le modèle, et l'inadéquation du BIM aux tâches ambiguës :

> « Current BIM capabilities rather seem to lie in the area of design documentation and post-design rationalization than triggering new design solutions. » (Holzer, 2007, p. 3)[429]

Le premier argument que nous soulignons est celui du remplacement de la documentation par le dessin ou représentation du projet architectural par sa modélisation informatique ; ce constat précoce justifie une place importante dans notre argumentaire, notamment parce que ce glissement est peu commenté alors qu'il semble fondamental. Le deuxième argument d'Holzer est moins spectaculaire mais exprime clairement l'inadéquation de l'informatique aux tâches créatives du début de projet d'architecture. Holzer dit explicitement que l'intérêt de la modélisation BIM semble évident à partir de la phase descriptive APD et la phase constructive à partir de la phase EXE mais pas pour les premières phases de conception créative. L'aptitude du BIM à la simulation paraît plus utile pour les phases ultérieures, dans la phase d'étude et de description des ouvrages pour anticiper les conséquences de décisions de conception ; les phases de prescription ainsi que pour la phase d'exploitation et de gestion patrimoniale de l'après-chantier ; jusqu'à sa destruction si l'on considère tout le cycle de vie du bâtiment. Malgré cet atout, et malgré cette réputation d'outil capable de suivre le bâtiment jusqu'à sa destruction, l'outil BIM lui apparaît peu adapté aux phases initiales du projet. Sur ce point de l'inadéquation des logiciels CAO à l'idéation du début de projet, évoquons la thèse de Stéphane Huot qui en fait état avec de nombreuses références à l'appui, se référant ici à Chupin :

> « La plupart des logiciels de CAO se comportent encore comme des assistants de dessin suréquipés. Ils présupposent tout autant la maturité du concepteur que celle de l'objet de sa conception, c'est-à-dire en ce qui concerne l'architecture, de son projet. Ces présupposés ne seraient pas forcément contradictoires si ces logiciels ne se comportaient pas dans le même temps comme des enseignants cachés et, ce qui est plus grave, comme des maîtres qui ne savent pas qu'ils enseignent la conception ! De façon à pallier de telles difficultés, il faudrait constituer un éventail de dispositifs, une sorte de boîte à outils cognitifs, qui serait mise à la disposition d'un concepteur ; en même temps que lui seraient fournis au moins autant de dispositifs propres à maintenir sa liberté aussi bien que sa vigilance. En d'autres termes, les

[428] Cf. section 2.3.1

[429] « Les capacités actuelles du BIM semblent plutôt se situer dans le domaine de la documentation de la conception et de la rationalisation post-conception que dans celui du déclenchement de nouvelles solutions de conception. »Trad.Gouezou

> dispositifs informatiques qui sont actuellement offerts aux concepteurs sont encore largement inappropriés pour répondre aux principales tâches qui régissent la conception. Comment peut-on expliquer une telle inadéquation ? Sur quels malentendus repose-t-elle ? » (Chupin, 2002, p. 67)[430]

Nous comprenons que Chupin critique la propension des logiciels de CAO à « présupposer » , surdéterminer les compétences et intentions projectuelles du concepteur, à contraindre informatiquement son *projet*, à rebours de tout ce qu'imposerait une véritable démarche exploratoire; ces travers surdéterminants seraient accentués par la nécessité de devoir en plus mobiliser ses facultés de focalisation et d'apprentissage non pas pour le projet d'architecture, qui est pourtant l'objet des efforts consentis, mais pour l'apprentissage du logiciel de CAO trop complexe pour être intuitif. Concernant la commodité d'un logiciel de CAO, Boudon distingue les points de vue de l'informaticien et de l'utilisateur :

> « Les différentes modélisations de la conception architecturale que tentent les outils de CAO laisseraient penser que c'est bien en ces termes que la question devrait être posée. On passe alors de la géométrie euclidienne à la topologie, pensant résoudre par la seconde les questions posées par la première. Mais accepter de poser la question en termes de commodité c'est postuler que ce qui est commode pour l'informaticien l'est du même coup pour l'architecte. Or rien n'est moins sûr. » (P. Boudon, 2003, p. 15)

Ce qui revient à dire que la CAO force le langage de conception, le rendant moins intuitif, et le ramène au langage informatique rétif à l'indétermination. Convenant de cette distinction entre l'agenda du concepteur d'architecture et celui du concepteur de logiciel. Richard Garber voit le BIM naissant dans les années 2000 comme une évolution plus « informée » de la scène « non standard » des années 90 plus « formelle ». Entre ces deux décades, il relève un glissement de paradigme fondé à l'origine sur des préoccupations formelles et esthétiques vers de nouvelles préoccupations plus pragmatiques : la modélisation BIM est guidée par un ensemble de données (*data driven*) propre à soutenir des simulations performancielles de la conception. Il en résulte une littéralité anticipant ce que serait le projet une fois construit. L'intérêt du concepteur deviendrait moins axé sur les aspects créatifs et plus les aspects constructifs :

> « When measured against performance or other optimising criteria, these speculations seem to intersect with the more pragmatic management tools and construction simulations proffered by information models. In the contemporary virtual to actual paradigm, interpretation is no longer required because digital information models are already inherently real. As precise three-dimensional concepts are designed, tested, iterated and optimized in virtual space, they need only to be translated, or actualized into physical media. » (Garber, 2009a, p. 13)[431]

---

[430] Nous devons cette citation à Stéphane Huot qui la mentionne dans sa thèse in (Huot, 2005, p. 15)

[431] « Lorsqu'elles sont mesurées par rapport à des critères de performance ou d'optimisation, ces spéculations semblent se recouper avec les outils de gestion et les simulations de construction plus pragmatiques que proposent les modèles d'information. Dans le paradigme contemporain du virtuel à l'actuel, l'interprétation n'est plus nécessaire parce que les modèles d'information numérique sont déjà réels par nature. Comme des concepts tridimensionnels précis sont conçus, testés, itérés et optimisés dans l'espace virtuel, il suffit de les traduire ou de les actualiser sur des supports physiques.» Trad.Gouezou

Par soucis de clarté, nous réservons l'utilisation du terme représentation aux techniques traditionnelles de dessin dont la dimension sémantique est éminemment humaine. Nous associons le terme de représentation au projet, par opposition à celui de simulation associée au modèle. Le modèle BIM, constitué de la géométrie et des informations qui y sont adossées avec quoi il forme un système performant de simulation du projet d'architecture, n'est peut-être pas plus adapté aux besoins de l'architecte en début de projet qu'à ceux de l'informaticien. En creux, nous interprétons ces critiques de la CAO en général et du BIM en particulier comme visant la surdétermination qu'ils provoquent sur le processus « naturel » de conception, qui requièrent des mediums plus intuitifs. De là à en déduire que la qualité d'intuitivité serait inaccessible à tout approche informatique, il y a un pas que nous ne franchissons pas tant il nous semble que la critique de Chupin, par exemple, s'adresserait plus aux logiciels édités, commerciaux, et à leurs utilisations dans les agences d'architecture. Nous savons que, au contraire, de nombreuses démarches de recherche du domaine des STIC[432] peuvent s'avérer relativement compatibles avec une telle approche intuitive. En outre, dans l'acception de Chupin, est-ce qu'« *intuitif* » serait synonyme de « *transparent* », sachant que par transparent nous pouvons aussi l'entendre comme la qualité d'adéquation ou affordance[433], comme la capacité à pouvoir être utilisé le plus naturellement possible.

3.3.3. Cas pratique comparant représentation et modélisation

Si l'on décide de concevoir l'angle d'un mur composite en brique avec une épaisseur d'isolant en DAO (Celnik and Lebègue, 2014, p. 38), par exemple sur Autocad®, on constate Figure 26 que les traits ont la signification qui leur est attribuée graphiquement par l'opérateur qui, le plus souvent, décompose les matériaux ou les éléments architecturaux par calques. Les intentions du concepteur sont perceptibles grâce aux codifications en cours dans le domaine (mode de représentation, symboles, code couleur etc.). Ensuite, on constate que ce mur composite est dessiné selon différents points de vue qui formeront les différents documents (plan, coupe ou élévation). Cette approche par *représentation* décompose notre angle de murs en autant de documents plans que nécessaires. L'interprétation reste purement mentale mais fait sens en tant que « mur en brique » pour qui interprète ce document. La qualité des matériaux relève également du dessinateur qui est allocateur du sens. La nécessaire *interprétation* qui en résulte nous laisse penser qu'il s'agit bien d'un code de *représentation*. Comme le disais Celnik, Autocad® est la plupart du temps utilisé comme une « *planche à dessin électronique* ». Ensuite, le même mur composite est abordé directement en 3D par un outil « mur » qui demande d'abord de préciser sa composition en termes de couches, d'épaisseur, et de matières par le biais de diverses manipulations.

[432] Cf. sections 2.3 et 2.4 et les tableaux en annexe de la section 12.1 à la section 12.5

[433] Cf. section 2.3.3 Les possibilités d'interactions offertes à un sujet par un contexte et, par extension, toutes les actions possibles résultantes de la co-présence d'un environnement et d'un agent. Nous développerons cette notion dûe au psychologue Gibson

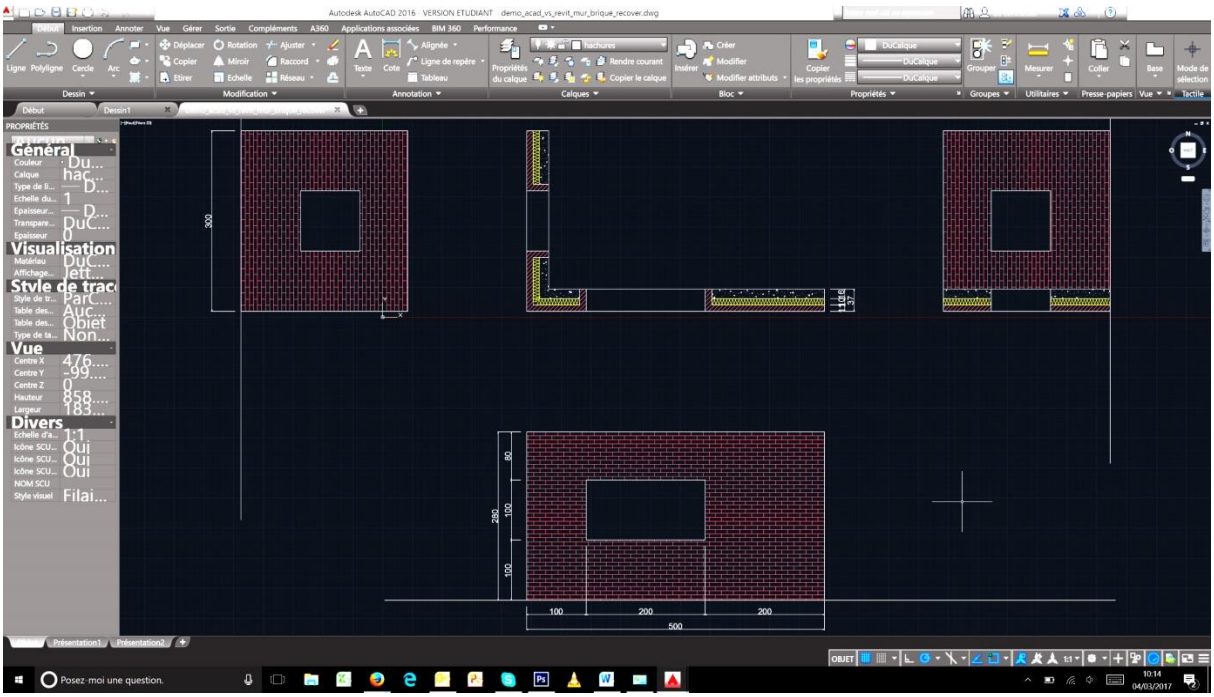


Figure 26 représentation d'un angle de mur en brique sous Autocad2015® . Crédit image Vincent Gouezou

Cette méthode par modélisation BIM fait apparaître une phase préparatoire particulièrement longue, investissement en temps qui permettra ensuite performer en offrant un gain de temps significatif car trois « clics » ont suffis à modéliser le gros œuvre. Des observations que nous avons pu faire au sein de l'agence ANMA, et des témoignages que nous avons pu recueillir par ailleurs, indiquent que ce temps préparatoire conséquent semble caractéristique de l'approche par modélisation. Si ces éléments sont pleinement informés sur la modélisation BIM, ils apparaîtront automatiquement sur les vues et les documents qui en découlent avec les bonnes qualités de matières. Dans ce cas-là, nous constatons que la machine confère tel sens à tel objet ou matière, et nous voyons qu'il ne s'agit plus de l'interprétation du mur en brique mais de sa simulation; conformément aux assertions convergentes de Garber, Girard ou Marin et Cuba Segura à propos du modèle informatique devenant intrinsèquement réel :

> « La simulation porte en elle une forme d'objectivation de la réalité à travers l'anticipation des phénomènes qu'elle cherche à évaluer et à signifier. La modélisation numérique porte en elle ses propres modes de signification et de compréhension de la réalité. » (Marin and Cuba Segura, 2014, p. 5)

Il n'en résulte pas que l'architecte est dépossédé des questions sémantiques, puisqu'il garde « la main » sur la signification qu'il veut bien attribuer aux éléments qu'il modélise, mais convenons que son interprétation n'est plus requise : il est sorti du régime de la représentation où une chose graphique équivalait conventionnellement son pendant construit. Dans le cas de la simulation, la modélisation renvoie à l'objet mur sans plus requérir d'interprétation humaine ; comme si la machine était devenue dépositaire du sens du mur de brique.

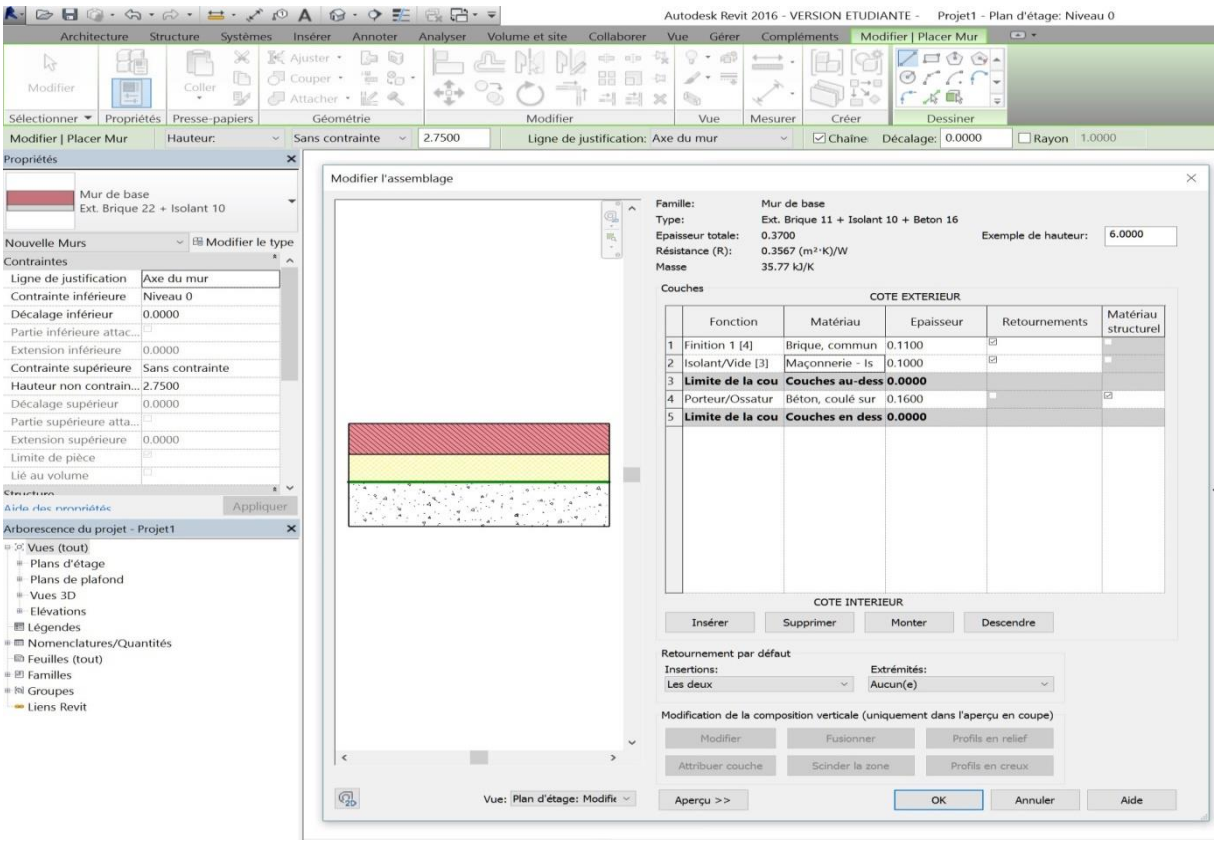


Figure 27 spécification du mur composite sur Revit2017®. Crédit image Vincent Gouezou

Pour exprimer cette idéal de conformation à la réalité qui ressort de l'analyse de la modélisation, exhumons l'expression « *WYSIWYG*»[434], vieille formule du domaine PAO[435] signifiant que l'aperçu livré est conforme au résultat qui sera obtenu. La rapidité d'exécution de la modélisation de cet angle de mur (trois clics pour le gros œuvre, puis deux insertions de blocs-fenêtre) est surprenante et provient de la phase préparatoire précitée. De même, l'automatisation des documents (plans, coupes, élévations) résultant de cette modélisation BIM permet aussi une très grande rapidité d'exécution, ce qui s'avèrerait décisif pour les retouches et modifications directement implémentées sur la modélisation 3D. Sur la base de nos observations faites chez ANMA, nous avons aussi constaté que la modélisation BIM se substitue à la *représentation* par plan DAO. En abandonnant Autocad® , les équipes ne dessinent plus pour produire des documents, abandonnant les pratiques de représentation. Elles se sont mises à modéliser sur Revit® qui automatise les documents. L'étiolement de la logique de représentation, et la perte du dessin qu'elle induit, est-elle dommageable à la conception architecturale ou bien sans incidence ? Le BIM sonnerait-il le glas du dessin ou bien redéfinira-t-il ses usages ? Postulant que le dessin est indissociable de la conception architecturale nous réfutons l'idée de devoir renoncer au dessin.

[434] What you see is what you get
[435] Publication Assistée par Ordinateur

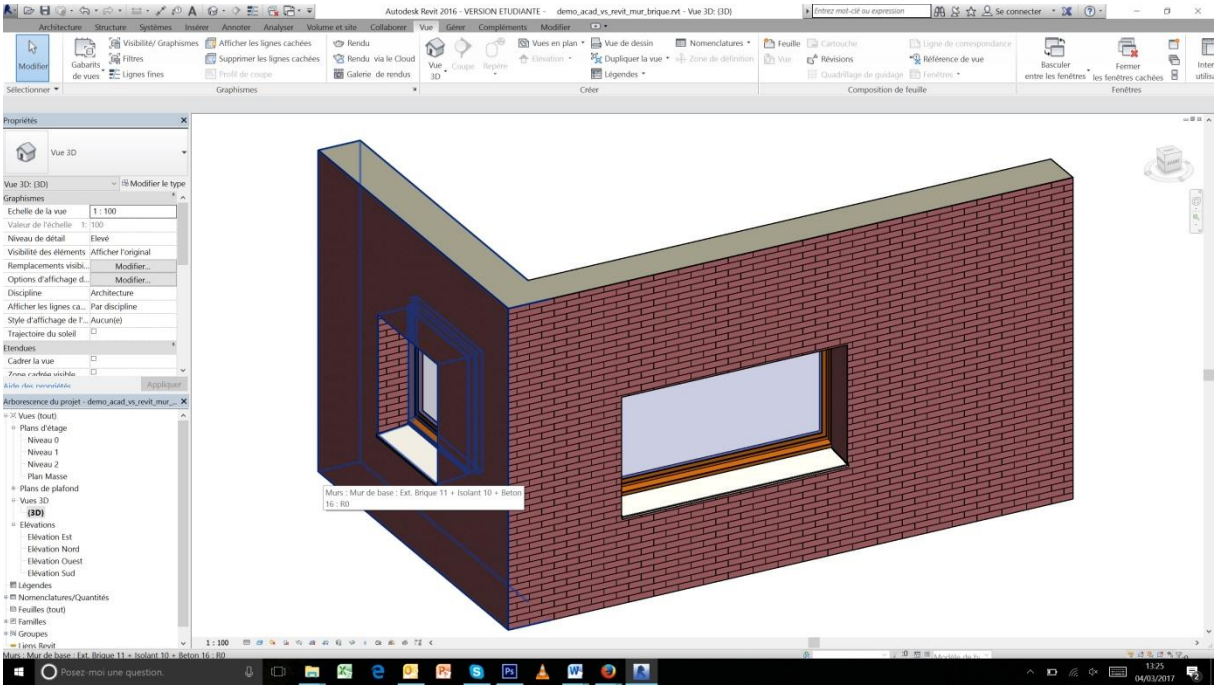


Figure 28 modélisation d'un angle de mur en brique sous Revit2016® · Crédit image Vincent Gouezou

Si la logique de modélisation BIM semble dispenser d'avoir recours au dessin, rien ne démontre l'incompatibilité entre modélisation BIM et dessin d'esquisse. Jusqu'à preuve du contraire, nous considérons comme possible l'introduction de pratiques de dessin en contexte BIM. Dans le domaine du dessin libre informatisée, liant IHM et informatique graphique, nous avons répertorié une soixantaine de recherches significatives attestant qu'il est possible de dessiner numériquement[436]. S'il n'existe pas de modalité de dessin d'esquisse « bimable », ce n'est donc pas dû à une incompatibilité supposée entre la main dessinante et l'ordinateur.

3.3.4. Cas d'usage en agence

3.3.4.1. Cas 1 chez ANMA : dessins d'esquisses et saisies en CAO-BIM

Dans les documents suivants, nous voyons des tâches représentatives d'étapes importantes d'un projet. Dans ce cas, il s'agit d'un concours de 89 logements comportant 269 places de parking situés en « entrée de ville », sur une parcelle d'angle entre le boulevard Brémont et la rue Rostand, dans la commune de Saint Leu la Forêt. Etudié à l'été 2016 chez ANMA par une équipe composée de Cyril Trétout, associé et concepteur principal, d'Olivier Calavarèse, chef de projet et responsable du pôle architecture, et Rachel Tricon, assistante du chef de projet chargée de la modélisation du projet.

[436] Cf. tableaux en annexe de la section 12.1 à la section 12.5



Figure 29 « versioning » du plan masse sur calque d'étude. Cyril Trétout. ANMA. Eté 2016. Crédit image ANMA®

Dès la phase initiale de la répartition des masses dont nous présentons deux versions traitées en couleur, nous observons qu'il existe un travail « classique » d'épannelage sur feuille de calque d'étude superposée sur un fond de plan de type Autocad®. Ce « versioning » montre les évolutions de la conception à grande échelle. L'apposition du calque d'étude sur le fond de plan orienté au nord permet les girations utiles au « nord projet » ainsi que le « versioning » des divers épannelages. La situation en entrée de ville avec de relatives déclivités qui ont rendu les premières phases difficiles étant donné que les plans de géomètre ont été fournis tardivement. Cyril Trétout souhaitait introduire un jeu formel géométrique qualifiant l'opération mais il a fallu adapter ces intentions aux impératifs économiques et structurels liés à la trame issue des contraintes du parking souterrain. Ce jeu de façade a donc été réintroduit sur une phase ultérieure, une fois la proposition calée avec des plans d'étages courant mis au point. Bien que basée sur une modélisation BIM, cette phase s'est déroulée en 2D, sur les documents tirés de cette modélisation BIM, selon le même procédé de décalque sur plans en 2D de type Autocad®.

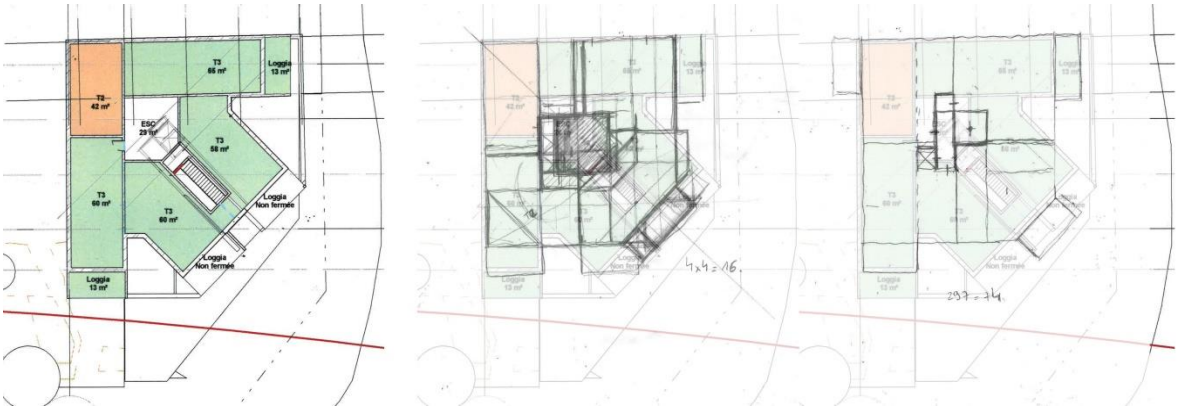


Figure 30 « versioning » du plan d'étage courant sur calque d'étude. Cyril Trétout. ANMA. Eté 2016. Crédit image ANMA®

Une fois les plans calés, le travail des façades a pu être repris selon un procédé identique de décalque sur fond de documents plans de Revit® . Ci-après, un dessin d'esquisse basé sur une axonométrie issue de Revit® . Il s'agissait de « casser » l'effet de masse des bâtiments en affinant verticalement les volumes et en jouant sur les pentes de toitures.

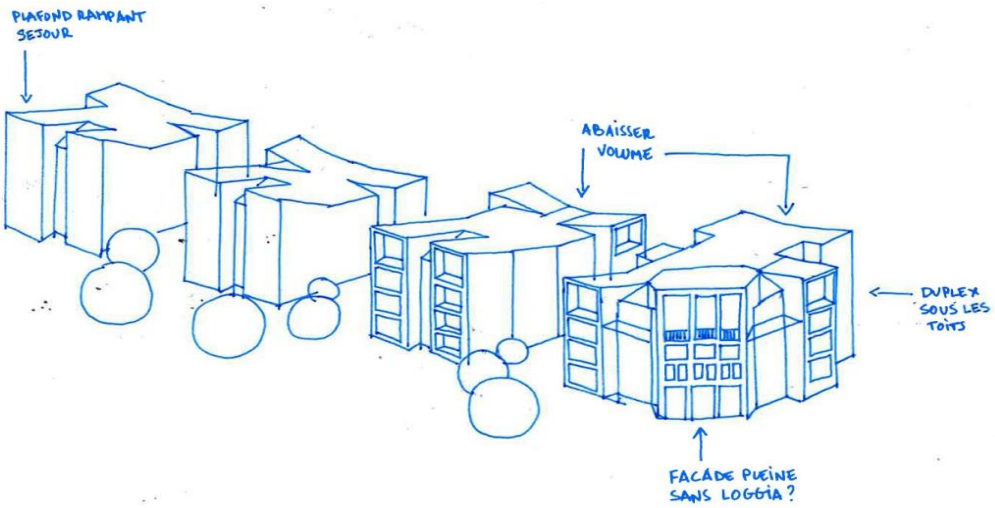


Figure 31 travail sur les jeux de toitures. Décalque sur base d'axonométrie tirée de modélisation BIM manquante. Crédit image ANMA®

Les perspectives suivantes illustrent les évolutions du projet, simplifié et maturé. Il fallait y reprendre l'aspect des loggias et les épaisseurs de toitures, jugées trop fines. Quelques informations de texture apparaissent sur le dessin d'esquisse.

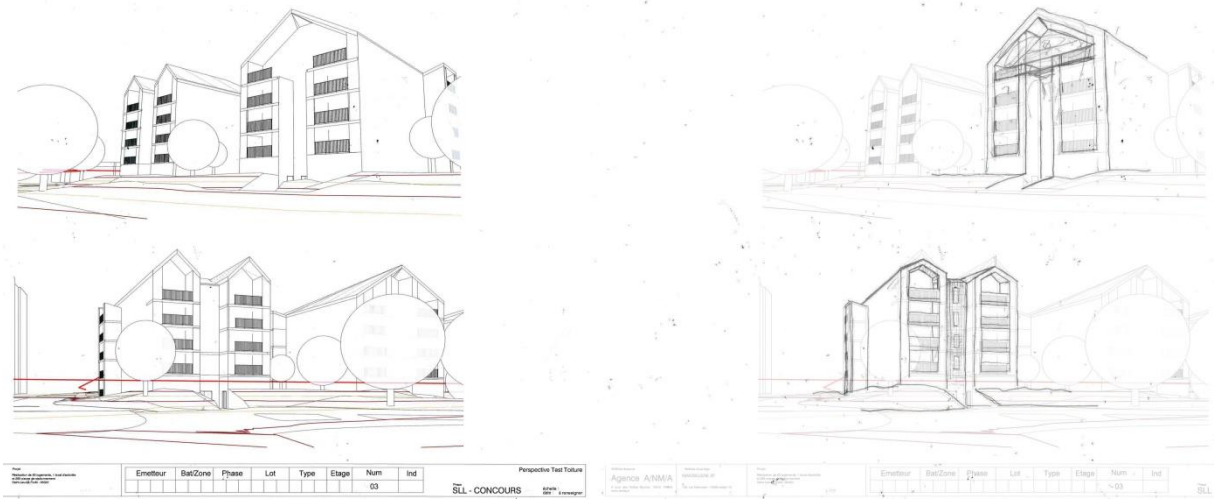
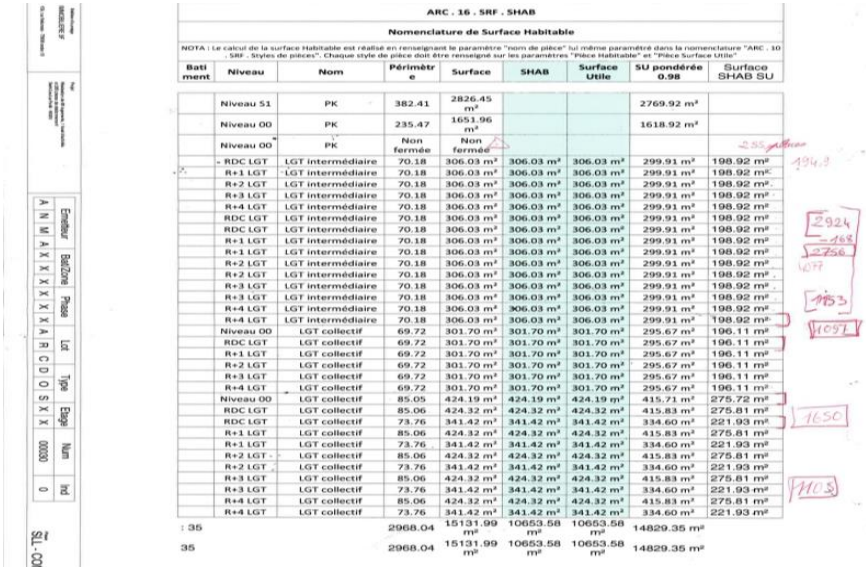


Figure 32 modifications de toitures sur la perspective d'angle. Cyril Trétout. Eté 2016. Crédit image ANMA®

Si le principe de modélisation change la façon dont le projet est saisi par l'opérateur, la production de documents « créatifs » échappe à Revit®; les pratiques d'échange entre le concepteur principal qui énonce ses intentions par le biais de dessins d'esquisses vers les architectes et opérateurs chargés de régler les problèmes implique peu le logiciel. Des documents sont régulièrement soumis au concepteur principal qui apporte, par ces cycles itératifs et incrémentaux, des corrections ou des modifications souvent dessinées et annotées sur du calque d'étude, comme si la modélisation BIM servait à enregistrer les modifications.

Les fonctionnalités de production de doccuments écrits de Revit® , en l'occurrence un tableau de surface, n'échappe pas non plus à ce principe d'annotations à la main sur le support papier.



ARC . 16 . SRF . SHAB

Nomenclature de Surface Habitable

NOTA : Le calcul de la surface Habitable est réalisé en renseignant le paramètre "nom de pièce" lui même paramétré dans la nomenclature "ARC . 10 . SRF . Styles de pièces". Chaque style de pièce doit être renseigné sur les paramètres "Pièce Habitable" et "Pièce Surface Utile"

Batiment	Niveau	Nom	Périmètre	Surface	SHAB	Surface Utile	SU pondérée 0.98	Surface SHAB SU
	Niveau 51	PK	382.41	2826.45 m²			2769.92 m²	
	Niveau 00	PK	235.47	1651.96 m²			1618.92 m²	
	Niveau 00	PK	Non fermée	Non fermée				
	RDC LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+1 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+2 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+3 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+4 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	RDC LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	RDC LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+1 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+1 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+2 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+3 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+3 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+4 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	R+4 LGT	LGT intermédiaire	70.18	306.03 m²	306.03 m²	306.03 m²	299.91 m²	198.92 m²
	Niveau 00	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	RDC LGT	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	R+1 LGT	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	R+2 LGT	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	R+3 LGT	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	R+4 LGT	LGT collectif	69.72	301.70 m²	301.70 m²	301.70 m²	295.67 m²	196.11 m²
	Niveau 00	LGT collectif	85.05	424.19 m²	424.19 m²	424.19 m²	415.71 m²	275.72 m²
	RDC LGT	LGT collectif	85.06	424.32 m²	424.32 m²	424.32 m²	415.83 m²	275.81 m²
	RDC LGT	LGT collectif	73.76	341.42 m²	341.42 m²	341.42 m²	334.60 m²	221.93 m²
	R+1 LGT	LGT collectif	85.06	424.32 m²	424.32 m²	424.32 m²	415.83 m²	275.81 m²
	R+1 LGT	LGT collectif	73.76	341.42 m²	341.42 m²	341.42 m²	334.60 m²	221.93 m²
	R+2 LGT	LGT collectif	85.06	424.32 m²	424.32 m²	424.32 m²	415.83 m²	275.81 m²
	R+2 LGT	LGT collectif	73.76	341.42 m²	341.42 m²	341.42 m²	334.60 m²	221.93 m²
	R+3 LGT	LGT collectif	85.06	424.32 m²	424.32 m²	424.32 m²	415.83 m²	275.81 m²
	R+3 LGT	LGT collectif	73.76	341.42 m²	341.42 m²	341.42 m²	334.60 m²	221.93 m²
	R+4 LGT	LGT collectif	85.06	424.32 m²	424.32 m²	424.32 m²	415.83 m²	275.81 m²
	R+4 LGT	LGT collectif	73.76	341.42 m²	341.42 m²	341.42 m²	334.60 m²	221.93 m²
: 35			2968.04	15131.99 m²	10653.58 m²	10653.58 m²	14829.35 m²	
35			2968.04	15131.99 m²	10653.58 m²	10653.58 m²	14829.35 m²	

Figure 33 annotations à la main sur la base d'édition de nomenclature de surfaces. Crédit image ANMA®

Nous venons de voir une des raisons majeures pour laquelle le BIM intègre la production de documents 2D au lieu d'échanger directement des modèles 3D : nous dirions que la question de la mémoire de la genèse du projet et le besoin d'annoter, par des dessins mais aussi par l'écriture, justifie de pouvoir disposer de supports 2D imprimables.

3.3.4.2. Cas 2 chez ANMA : dessins d'esquisses sans saisies en CAO-BIM

Michel Delplace, associé d'ANMA, a produit à l'été 2017, pour le compte de la communauté urbaine de Bordeaux, une étude de faisabilité d'un bâtiment de bureau situé dans le quartier de la Jallère à Bordeaux, sur le cours Charles Bricaud. Le document « plan de masse » présentée ci-dessous indique la présence de trois zones humides dont la zone marquée « A1 »[437] caractérisant le site, la zone la plus au nord nous concerne. Ce plan masse indique ainsi que la zone constructible A1 en front à rue est densifiée afin d'épargner autant que possible la zone humide naturelle qui est protégée car abritant un écosystème singulier.

[437] mention rajoutée par l'auteur sur le document

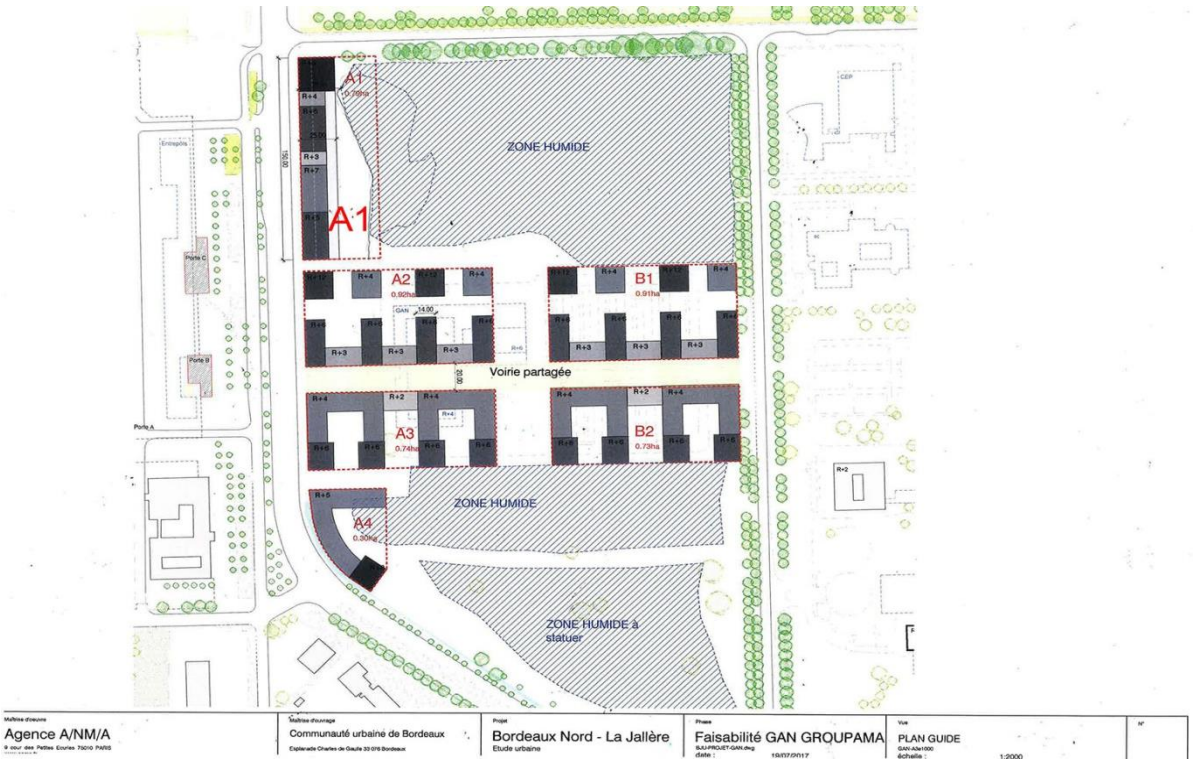


Figure 34 plan masse Bordeaux La Jallere. Zone constructible A1. Crédit image ANMA®

Tenant compte de ces contraintes, Michel Delplace utilise un fond de plan constitué de la trame présentée ci-dessous, utilisé comme sous-calque comme base pour les versions qui seront esquissées ensuite sur du papier calque apposé. Cette trame standard de bureau de 2m70 est compatible avec celle des parkings attenants. A priori anodin parmi les autres documents, ce fond de plan sur papier blanc revêt pour Michel Delplace une importance fondamentale en tant que canevas et matrice du projet : sur une base de contraintes immuables, il donne déjà des mesures aux variantes du projet et permet ainsi de travailler dans un espace de solution optimal. Cette trame matricielle dans ce cas de Bordeaux, comme dans un autre cas d'un hôtel entre Croix et Villeneuve d'Ascq[438], est généralement dessinée en lien avec un collaborateur d'ANMA sur Autocad® ou Revit® et parfois à la main comme dans le cas présent. Selon Michel Delplace, les tramages produits sur Revit® ont le défaut de présenter un excès d'information et de définition ; notamment dû à la présence d'éléments standardisés trop précis pour la phase esquisse[439], particulièrement lorsqu'il s'agit d'un sous calque. La découpe en zigzag sur le plan ci-dessous provient de l'empiètement de la zone humide sur le rectangle constructible « A1 ».

[438] projet expliqué par Michel Delplace mais non présenté ici
[439] Cf. le dernier document de cette section

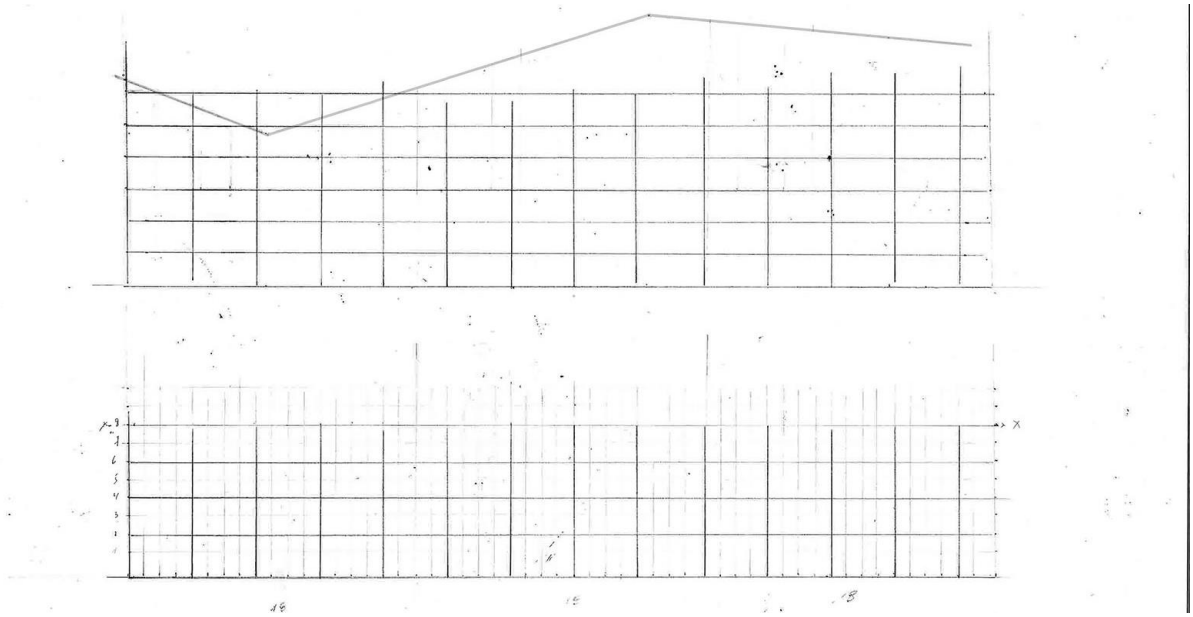


Figure 35 plan de trame de sous-calque sur fond blanc servant de base aux versions ultérieures sur calque ; en bas : vue en élévation correspondante indiquant les hauteurs. Crédit image ANMA®

Selon le document ci-après, Michel Delplace cherche son espace de solution : il respecte les trames standards d'espaces de bureau de 2m70 et celle des parkings couplés avec d'autres contraintes et intentions qui conduisent au regroupement dans une grande cellule de deux niveaux soit 6m de haut, par quatre trames de 2m70, soit 10m80 dans le sens de la rue, par 5m40 dans le sens transversal. Sur la base de cette cellule parallélépipédique de 10m80 par 5m40 par 6m de haut, un concept général de gradation descendante des volumes bâtis du front à rue vers la zone humide protégée émerge sur le plan ci-dessous.

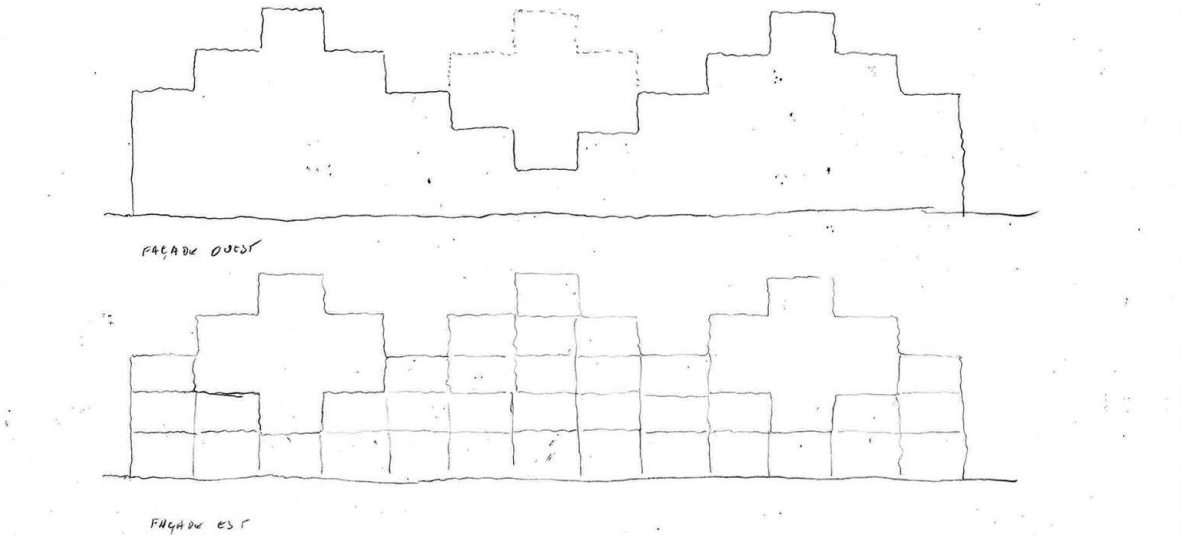


Figure 36 premier concept émergent de la trame sur la base d'une cellule de 10m80x5m40X6m de haut. Crédit image ANMA®

Les gradinages obtenus deviennent supports de végétaux liés à la zone humide protégée, le projet de bureau devient alors un moyen de donner à lire cette zone protégée à la ville.

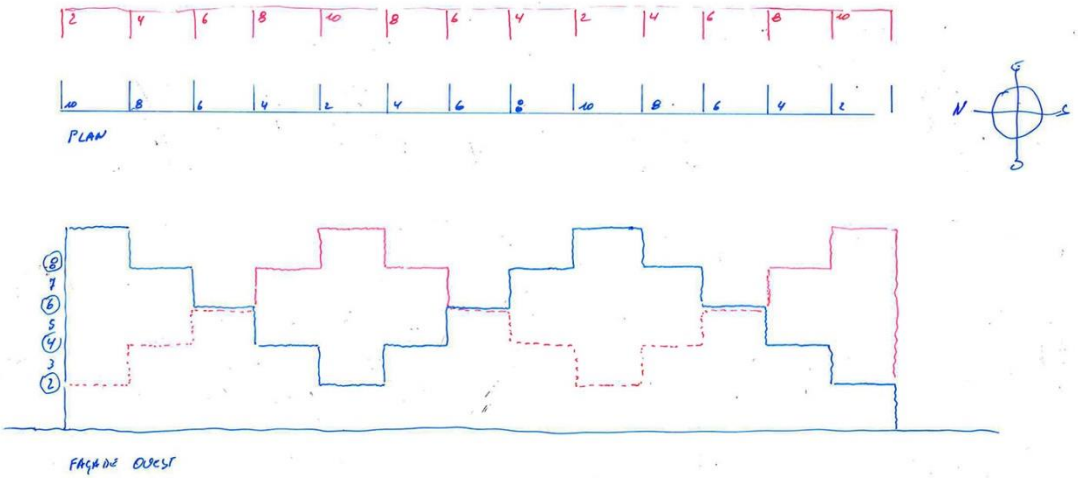


Figure 37 n°4. consolidation du concept de gradation par décalage des façades sur rue et sur intérieur d'ilot ; côté rue (en bleu), côté zone humide protégée (en rouge). Crédit image ANMA®

Ce concept de gradation est consolidé sur le document suivant montrant l'alternance en quinconce des lignes de crête côté rue (en bleu) et côté zone humide protégée (en rouge). Michel Delplace a ensuite procédé à l'adaptation du concept précédent aux spécificités du site, ici le contour du terrain constructible inscrit dans le rectangle « A1 ». Des indications de niveaux pairs renseignent sur la manière de disposer les sommets du projet puis de les relier, plus ou moins doucement, au site. Des cages d'escaliers (en gris) s'insère dans la trame. Le concept initial de quinconce entre les sommets est persistant mais s'effacera sur les versions ultérieures. Compte tenu de ces différentes contraintes exposées précédemment, Michel Delplace peut ensuite engager une séquence de « versioning » destinée à établir les meilleures hypothèses.

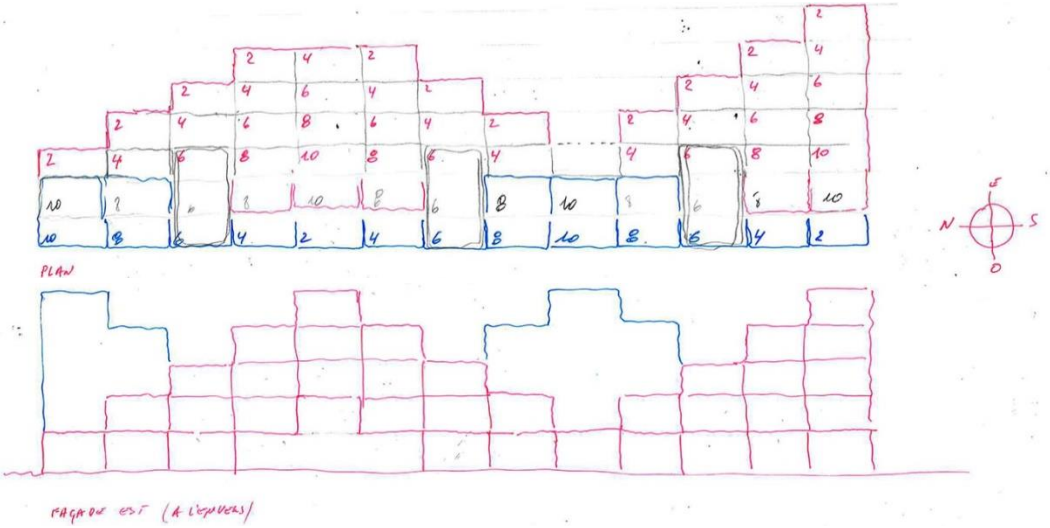


Figure 38 n°5, contextualisation du concept avant versioning. Crédit image ANMA®

Le plan masse suivant, la « V2 », expose le principe d'inversion des sommets en R+10 d'environ 30 m de haut côté rue puis dégradé côté zone humide protégée. La « V3 » renvoie ces deux sommets côté intérieur du terrain pour adoucir la connexion avec la zone humide.

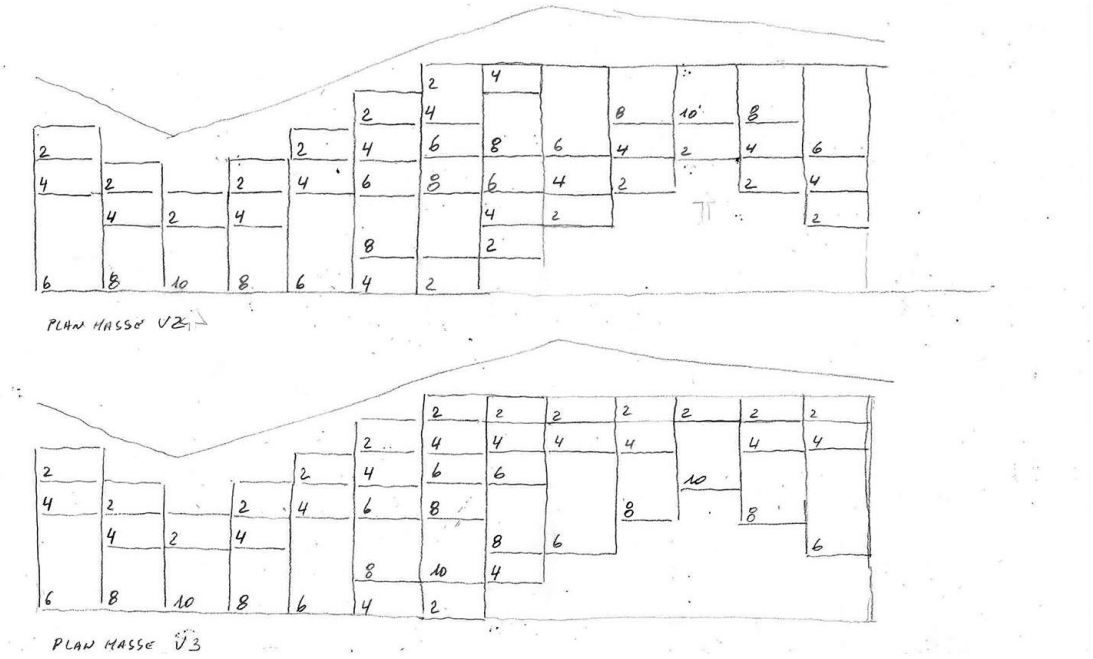


Figure 39 versioning en plan sur calque posé puis décalé sur le fond de plan. Crédit image ANMA®

D'autres versions seront éprouvées en maquette. Une version « V1 » (à gauche de la photo) se fonde sur l'hypothèse d'un front bâti très affirmé sur la rue. Ce versioning se poursuit ensuite, comme le montre le document[440] suivant destiné au maquettiste d'ANMA, Quentin Guillemet. Les versions sont rassemblées et comparées sur un même document dont le code couleur simplifie la lecture des niveaux.

[440] Ces deux maquettes sont calées et alignées sur leur plan correspondant en haut de la photo où les sommets en R+10 figurent en rouge, les R+8 en orange etc. jusqu'au niveau bas R+2 en jaune.

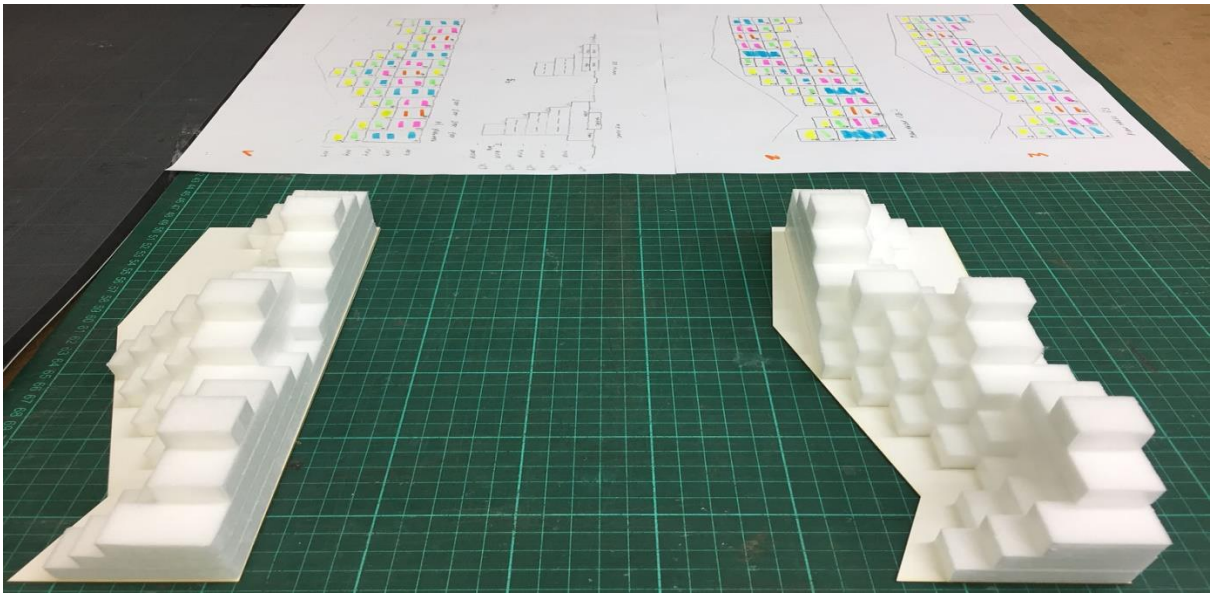


Figure 40 correspondance de deux versions en maquette avec leur plan coloré respectif. Crédit image Crédit image ANMA®

Le maquettiste pourra saisir sur Autocad® les contours nécessaires à la construction de la maquette au moyen d'une découpeuse laser. Le document suivant détaille la version « V1 », exposant le tramage et l'épannelage spatial de cette version de projet en « front à rue ». Y figurent des indications sur les hauteurs clarifiées par un code couleur établi par le maquettiste (R+10 en rouge, R+8 en orange, R+6 en bleu, R+4 en vert, R+2 en jaune)

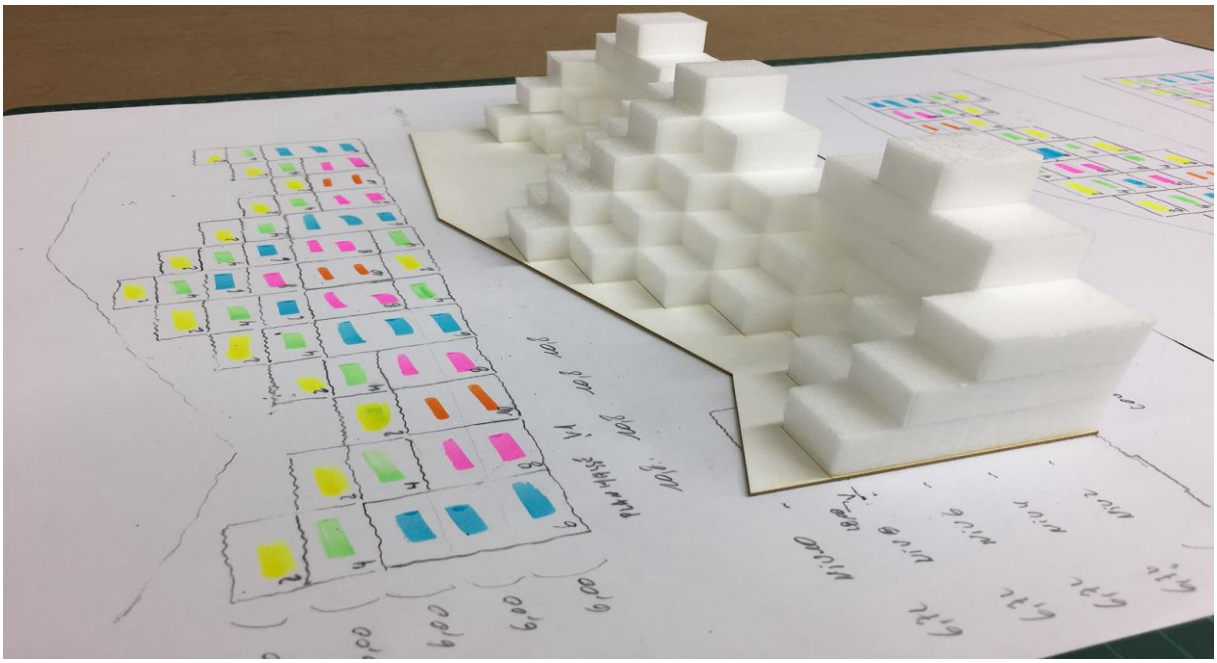


Figure 41 détail de la version "V1" avec les trames et les niveaux relevés par un code couleur. Crédit image ANMA®

L'échange avec Michel Delplace portant sur l'usage de la CAO-BIM en phase d'esquisse a reposé sur cet exemple de Bordeaux ainsi que sur celui du projet d'hôtel à Villeneuve-d'Ascq

et Croix[441] a permis d'aborder quantité de points dont deux paraissent saillants. D'une part, Michel Delplace confirme que la phase d'idéation focalise sur des considérations complexes fondant sa proposition et que, à ce titre, un excès de détails graphiques et symbolique provenant de Revit® , par exemple, nuirait considérablement à l'idéation. En effet, à ce stade, c'est plutôt d'une trame générale libre, simple et neutre dont aurait besoin l'architecte, permettant de superposer ses feuilles de calque pour tenter des hypothèses et faire du « versioning ». Inversement, comme en atteste le document ci-dessous, un même travail d'élaboration de trame abstraite menée sur Revit® convoque un niveau de détail excessif gênant Michel Delplace, qui se plaint, par exemple, de la représentation de blocs fenêtre trop présent visuellement, comme en attester le document ci-après :

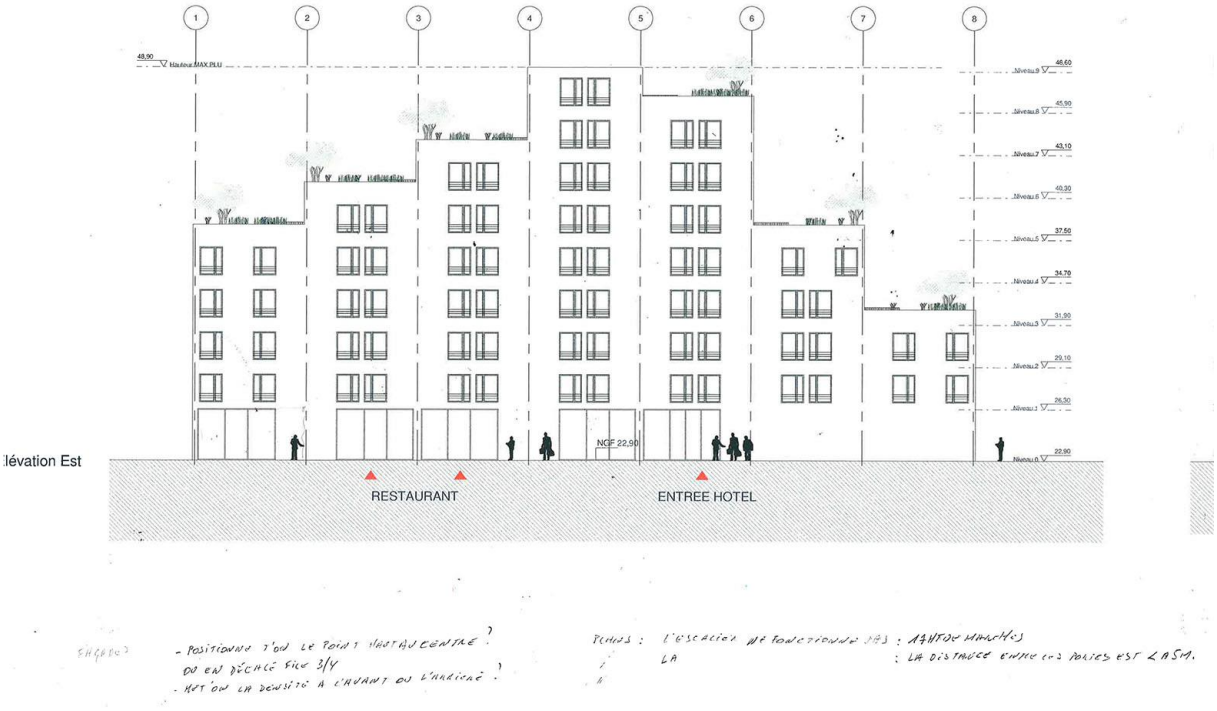


Figure 42 trame de sous calque exécuté sur Revit® présentant « trop de détails » pour l'idéation. Crédit image ANMA®

Outre l'excès de détail provenant du logiciel de CAO-BIM, l'autre point saillant serait la mise en évidence d'un paradoxe entre la complexité des idées et la simplicité de leur représentation sur document. Les hypothèses naissantes manipulées et leurs diverses configurations possibles[442] demanderaient des modalités de représentation qui ne surajoute pas de complexité inutile. Si Michel Delplace convient que quelques réglages sur Revit® auraient pu réduire les informations visuelles superflues et gênantes (e.g. en réglant l'affichage du modèle géométrique BIM à un niveau de détail faible, en occultant les blocs-fenêtres, etc.), le dessin à la main et à la règle gardent sa faveur lorsqu'il s'agit de dessiner une trame de fond d'un projet ainsi que ses premières versions. Selon lui la modélisation géométrique BIM n'apporterait rien à

[441] Cf. Figure 42, que nous ne développerons pas plus
[442] Cf. l'épannelage volumétrique complexe en soi et la prise en compte des différentes contraintes

l'épannelage du projet ou, du moins, le perturberait par excès de détails visuels dans une phase qui semble requérir, au contraire, des documents relativement abstraits et non un modèle surdétaillé. Cet excès d'information n'est pas sans évoquer l'« inflation » de fonctionnalités des outils de CAO pointé par Beaudoin-Lafon. Pour ces raisons, Michel Delplace confirme l'idée récurrente que les outils de CAO en général, et BIM en particulier, ne seraient efficients qu'à partir de la phase de description des ouvrages. Il conviendrait selon lui de laisser les phases d'idéation au dessin d'esquisse à la main. Ainsi, dans ce « cas 2 » comme dans le « cas 1 » précédent impliquant Cyril Trétout, nous retrouvons une similitude méthodologique reposant sur l'emploi d'un sous calque supportant de façon neutre les contraintes majeures, comme document matriciel, servant de support à la superposition de différents calques recevant les dessins d'esquisse. Pour autant, si ce recours au dessin d'esquisse sur calque d'étude semble être la méthode principale, elle n'est pas exclusive pour autant, laissant par exemple la place à d'autres méthodes, selon les circonstances, par l'emploi de maquettes physiques, ou numériques. Les trois associées d'ANMA conviennent qu'il n'existe pas de méthode unique exclusive et se déclarent ouverts à d'autres approches, comme celle que nous tentons de développer par le recours à la réalité virtuelle.

3.3.5. La modélisation BIM automatisant le document

L'hypothèse consistant à considérer que le BIM oblitère la représentation au profit de la modélisation est sûrement invérifiable mais elle aide à clarifier le changement de paradigme provenant de la différence entre le trait d'un dessin et la saisie d'une information ou d'une géométrie : chacun peut comprendre que dessiner et modéliser sont deux choses distinctes. Il serait plus juste de dire que l'approche par modélisation n'a pas supplanté l'approche par représentation, mais qu'elle l'a intégrée et annexée. Nul ne conteste que la modélisation BIM permette aussi la production de documents graphiques puisque la production de pièces graphiques (e.g plan masse, plans, coupe, élévation, perspectives, etc.) et écrites (descriptif, tableaux et quantitatifs, etc.). Ces fonctionnalités répondent aux besoins des utilisateurs qui, de ce qui peut être observé en école et en agence d'architecture, se servent encore des documents en 2D. Simplement, les logiciels de CAO-BIM intègrent la production et la tenue à jour de ces documents soumis à de nombreuses modifications. L'automatisation de la production et modification de documents sur la base du modèle BIM soulage l'architecte des tâches fastidieuses (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 43.44)[443] et à faible valeur ajoutée. Joaquim Jorge et al (2014) décrit les usages documentaires de la modélisation BIM dans les dynamiques des modifications et de simulation :

> « Les outils de conception BIM permettent d'extraire différentes vues à partir d'un modèle de construction pour la production de dessin et d'autres utilisations. Ces différentes vues sont automatiquement cohérentes, en fonction d'une seule définition de chaque objet. Le logiciel BIM définit également les objets de manière paramétrique ; c'est-à-dire que les objets sont définis comme des paramètres et des relations avec d'autres objets, de sorte que si un objet associé est modifié, les éléments dépendants vont également changer automatiquement.

[443] Cf. note 427

> Chaque élément de modèle peut porter des attributs pour le sélectionner et les commander automatiquement, en fournissant des estimations de coûts ainsi que le suivi et la commande des matériaux. La conception de bâtiments traditionnels reposait en grande partie sur des dessins techniques bidimensionnels alors que la modélisation de l'information sur le bâtiment utilise les trois dimensions spatiales (largeur, hauteur et profondeur) et les augmente avec le temps (4D) et les coûts (5D). » (Jorge et al., 2014, p. 24) [444]

Facilitant les modifications implémentées directement à même le modèle, la mise à jour s'en trouve simplifiée et permet d'automatiser la production des pièces graphiques et écrites, ces documents n'étant plus qu'une traduction automatisée. Ce point nous apparaît décisif : la modélisation BIM libère l'architecte du fardeau de la constante mise à jour des documents graphiques, ce qu'a très bien dit David Scheer exposant comment la modélisation en CAO-BIM facilite les modifications et la communication en automatisant les processus de production de documents :

> « The model becomes the shop drawings. Architects delve more deeply into construction techniques, sharing their models with fabricators to economically produce geometrically complex building systems. We can "mass customize" buildings by making aspects of the design parametric so that variations can be produced automatically without the need to re-draw each variation » (Scheer, 2011, p. 201) [445]

Kiviniemi revient sur l'histoire de l'adoption tardive de l'approche par modélisation 3D qui aurait pu et dû survenir plus tôt, au début des années 80 alors que s'imposait Autocad et l'approche par représentation informatisée, mimant la table à dessin :

> « As usual in technical development, the new tools were imitating the old process, in this case automating the drafting process, instead of trying to take benefits from the new technological possibilities. However, some visionaries had already presented the idea of building product models earlier (Eastman 1975), and the first commercial low-cost 3D modelling tools for architectural design appeared on the market almost at the same time as the drafting software, but they gained only a limited market share, while 2D CAD became dominant. » (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 38) [446]

Rétrospectivement les architectes pourraient être critiques à l'endroit des éditeurs de logiciels, particulièrement d'Autodesk, notamment d'avoir imposé une approche par document, même s'il faut dire aussi que leurs *habitus* des praticiens pesaient aussi en les ramenant à cette planche

[444] Projet H2020 non retenu et non diffusé

[445] « Le modèle devient le magasin de dessins. Les architectes approfondissent les techniques de construction en partageant leurs modèles avec les fabricants pour produire économiquement des systèmes de construction géométriquement complexes. Nous pouvons " personnaliser en masse " les bâtiments en paramétrant certains aspects de la conception afin que les variations puissent être produites automatiquement sans qu'il soit nécessaire de redessiner chaque variation.»Trad.Gouezou

[446] « Comme souvent dans le développement technique, les nouveaux outils imitaient l'ancien processus, en l'occurrence automatisant le processus de rédaction, au lieu d'essayer de profiter des nouvelles possibilités technologiques. Cependant, certains visionnaires ont déjà présenté l'idée de construire des modèles de produits plus tôt (Eastman, 1975) et les premiers outils de modélisation 3D [446 NDLR] économiques à faible coût pour la conception architecturale sont apparus sur le marché presque en même temps que le logiciel de dessin, mais ils n'ont gagné qu'une part de marché limitée, tandis que la 2D CAD est devenue dominante » Trad.Gouezou

à dessin devenue électronique (Celnik and Lebègue, 2014, p. 38). Les solutions de modélisation existaient pourtant à l'époque pour travailler directement sur la maquette numérique (Star®, Arc+®, Archicad®, All-Plan®, etc.). La production automatisée de documents est gérée par le logiciel de CAO-BIM à partir du modèle. Elle semble correspondre uniquement à un besoin humain de disposer d'un livrable tangible, par exemple pour faire de la revue de projet. La modélisation BIM peut être qualifiée d'« objectivante », ou indifférente aux intentions de l'architecte, car elle s'établit sur la base d'informations claires, non-ambigües, résultant des décisions du concepteur et non pas sur leur sens ou interprétations qui leur seraient liées, il n'est plus question de traduction. La saisie factuelle de paramètres nourrit la modélisation BIM en vue d'en tirer les meilleures simulations possibles ; qui sont le plus souvent de natures quantitatives, dimensionnelles et objectivement sémantiques : en somme il s'agit de simulation et non d'interprétation. Nous pouvons supposer que le gain important de productivité imputable à l'approche BIM est lié à cette automatisation de la documentation qui décharge l'architecte de la gestion d'une multitude de supports (Kiviniemi and Fischer, 2009, pp. 43–44). En outre, la corrélation entre les géométries et informations permet de chainer les contraintes et spécifications[447] si bien qu'une modification d'un des éléments du modèle en impacte d'autres automatiquement[448], y compris dans la production de documents graphique qui est, elle aussi, automatisée. Par exemple, la détermination de repères niveaux de plancher sur Revit permet de leur attacher divers éléments géométriques, si bien que la seule modification de l'altimétrie de ce niveau repère entraine automatiquement la modification des géométries qui s'y réfèrent, comme les murs, et met à jour les documents afférents. Si ces améliorations sont notables, où s'arrête la course au gain de productivité ? A quoi sert une démarche d'optimisation si sa visée reste financière ? Doit-on craindre du BIM une possible marginalisation des phases exploratoires qui sont, par nature, chronophages [449]. Ce faisant, il offre aussi la possibilité technique d'exiger des réponses plus rapides.

3.3.6. BIM comme passage au paradigme de modélisation

Un temps fort de l'informatique graphique dédiée à l'architecture - qualifiable d'architecture « non standard » - émergence observable dans les années 90 par exemple telle que l'exposaient les conférences d'Archilab du FRAC Centre. Si quelques figures présentaient des démarches de « codeurs » comme Greg Lynn codant en Python ou Bernard Cache codant pour concevoir et fabriquer des « objectiles » en FAO, la plupart semblait aborder l'informatique en tant qu'utilisateur de l'informatique. Introduisant un article de Garber, Mario Carpo évoque l'approche BIM comme héritière de cette scène architecturale des années 90, dont les

[447] Ce qui est particulièrement vrai pour Revit©, connu pour son approche de « propagation des contraintes »
[448] Par exemple, sur Revit©, le simple changement d'un niveau permet, s'il les géométries lui sont chainées, de changer automatiques les planchers, murs, structures, nomenclatures afférentes.
[449] Nous avons vu dans les sections précédentes que la modélisation BIM rationalise d'autres usages du temps en concentrant tous les efforts du concepteur convergeants sur la modélisation BIM, libérant ainsi les architectes du fardeau de la modification constante des pièces graphiques: le modèle BIM permet de gagner du temps en éludant les documents graphiques, ces phases de production de pièces graphiques, que les modifications constantes rendent particulièrement fastidieuses.

explorations formelles et esthétiques étaient permises par l'accès à des logiciels de modélisation provenant de l'industrie du cinéma. Selon lui, cette scène « non standard » de jeunes architectes a ouvert la voie à la séquence suivante des années 2000 c'est-à-dire à la modélisation CAO-BIM qui associe des données aux géométries pour simuler des performances :

> « Though we are now some two decades into the digital, one senses that yet another gap between the teaching of new modes of practice using information models and traditional architectural education has been created. Lack of buildability and formal whimsy seem to inform the critique articulated by those who advocate more traditional methods of education. It is important to note, however, that the formal speculations of the last decade partially laid the foundations for the development and adoption of BIM systems in architectural design. » (Carpo, 2013, p. 226)[450]

Au-delà de l'abord « graphique » et esthétique de l'informatique des années 90, Carpo dit que les fonctionnalités de programmation visuelle et de simulations ouvrent la voie vers des usages plus matures de l'informatiques : l'approche paramétrique permet ainsi d'énoncer et de jouer avec des règles de conception. Richard Garber a pointé cette dichotomie entre expert et utilisateur, considérant que la CAO des années 90 mimait les techniques traditionnelles :

> « By creating a rule-based environment, designs can be virtually developed based on specific criteria such as environmental orientation or site complexity. An advantage is that design computation is inherently parametric – changes can be applied to the system automatically, so designers no longer have to manually update aspects of the design. For instance, by numerically changing the size of a window type, a parametric model will update every instance of that window that exists within the model. By changing the design rules, aspects of a design can be automatically changed. » (Garber, 2014, pp. 38–39) [451]

Garber précise que le paradigme de la représentation aurait séparé les actes de concevoir et de construire depuis l'invention de la perspective lors de la renaissance italienne, hanterait encore les logiciels de CAO, que ce soit pour exécuter des dessins en 2D (e.g. Autocad), ou pour faire des images de synthèses (e.g. les logiciels issus du cinéma tel cinema4D, Maya, 3dsMax, etc.):

> « traditional method has largely been two dimensional; even with digital design techniques. the computer is used as a representational tool in the generation of renderings (pictures) or 2-D drawings of a building. This method separates the designer from the fabrication or construction

[450] « Bien que nous soyons maintenant depuis une vingtaine d'années dans le numérique, on sent qu'un autre fossé s'est creusé entre l'enseignement de nouveaux modes de pratique utilisant des modèles d'information et l'enseignement architectural traditionnel. Le manque de constructibilité et la fantaisie formelle semblent éclairer la critique formulée par ceux qui préconisent des méthodes d'éducation plus traditionnelles. Il est important de noter, cependant, que les spéculations formelles de la dernière décennie ont partiellement jeté les bases de l'adoption des systèmes BIM dans la conception architecturale.»Trad.Gouezou

[451] « En créant un environnement basé sur des règles, les conceptions peuvent être virtuellement développées sur la base de critères tels que l'orientation environnementale ou la complexité du site. L'un des avantages de cette computation pour la conception est intrinsèquement paramétrique - les modifications peuvent être appliquées automatiquement au système, de sorte que les concepteurs n'ont plus à mettre à jour manuellement certains aspects de la conception. Par exemple, en changeant numériquement la taille d'un type de fenêtre, un modèle paramétrique mettra à jour chaque instance de cette fenêtre qui existe dans le modèle. En changeant les règles de conception, les aspects d'une conception peuvent être automatiquement changés. » Trad.Gouezou

> process and can be traced back to Leon Battista Alberti's decree that there should be a separation between the practices of design and making » (Garber, 2009a, p. 12)[452]

Mais l'abandon de ce paradigme de représentation au profit du paradigme de modélisation et son corolaire de paramétrisation au début des années 2000, semble avoir cassé le verrou de la représentation et permis la réunion des actes de concevoir et de construire (e.g simulations, FAO, etc.) :

> « Albeit to this day most BIM applications still pertain to optimisation, performance and efficiency in cost and delivery, Richard Garber emphasises the theoretical, as well as practical import of a new tool capable of 'closing the gap' between design intentions, architectural notations and material execution – a gap inaugurated in the Renaissance by the very invention of architectural design and of the architectural profession » (Carpo, 2013, p. 226)[453]

Garber décrit le changement de paradigme des logiciels de CAO-BIM au début des années 2000 Comme reposant sur les fonctionnalités de simulation et la préparation à la construction :

> « Design computing has expanded in scope beyond representation-based documentation to now include analysis, simulation and digital fabrication. These new components allow architects to better understand and manage how their virtual ideas are realised, and to innovate or challenge traditional delivery and construction methods. The synthesis of such technologies and the need for better construction management has led to the emergence of building information models which close the gap and, in turn, promise to revolutionise contemporary design practice » (Garber, 2009a, p. 227)[454]

De ce point de vue, ces logiciels de CAO-BIM rapprocheraient effectivement les domaines de la conception et de la construction, traduisant plus facilement et plus vite les intentions de conception en simulation de bâtiment. Holzer dépeint la dynamique des logiciels de CAO qui supplante les approches par représentation (Holzer, 2007, p. 1). Il en ressort que les standards d'échange BIM, notamment la modélisation « intégrative » en 3D, mettent fin aux difficultés d'échanges entre les acteurs du bâtiment. Une étude plus tardive de Holzer dans le monde académique avait pour objet d'établir le positionnement stratégique des enseignants envers les

[452] « La méthode traditionnelle a été largement bidimensionnelle ; même avec les techniques de conception numérique. L'ordinateur est utilisé comme un outil de représentation dans la génération des rendus (images) ou des dessins en 2D d'un bâtiment. Cette méthode sépare le concepteur du processus de fabrication ou de construction. et peut être remonter jusqu'à l'injonction de Leon Battista Alberti qu'il devrait y avoir une séparation entre les pratiques de conception et de fabrication. » Trad.Gouezou

[453] « Bien que la plupart des applications BIM concernent encore aujourd'hui l'optimisation, la performance et l'efficacité en termes de coûts et de livraison, Richard Garber souligne l'importance théorique et pratique d'un nouvel outil capable de " combler le fossé " entre les intentions de conception, les notations architecturales et l'exécution matérielle - un fossé inauguré à la Renaissance par la simple invention du design architectural et du corps des architectes. » Trad.Gouezou

[454] « L'informatique de conception s'est étendue au-delà de la documentation basée sur la représentation pour inclure maintenant l'analyse, la simulation et la fabrication numérique. Ces nouveaux composants permettent aux architectes de mieux comprendre et gérer la façon dont leurs idées virtuelles sont réalisées et d'innover ou de remettre en question les méthodes traditionnelles de livraison et de construction. La synthèse de ces technologies et la nécessité d'une meilleure gestion de la construction ont conduit à l'émergence de modèles d'information sur les bâtiments qui comblent le fossé et, à leur tour, promettent de révolutionner la pratique contemporaine du design. » Trad.Gouezou

logiciels BIM et « paramétriques » notamment du point de vue de l'acquisition et l'emploi des connaissances dans le cursus architectural :

> « The danger with BIM as applied by inexperienced operators is a false understanding of the construction process based on the pseudo-tectonic implied by design methods that mainly address the production of design-intent models by architects (or engineers) without understanding the associated construction needs. This sentiment was reflected uniformly by all interviewees who noted the key quality they'd wish to see in a young graduate is a (tectonic) understanding of how a building is put together» (Holzer, 2015, p. 79) [455]

Selon ce que perçoit Holzer du monde académique, la bonne compréhension du processus de construction guidant des méthodes de conception, soit la maîtrise de la tectonique et les techniques employées par les entreprises de construction semble être un préalable pour une bonne maîtrise du BIM et des outils paramétriques, conclusion intéressante puisqu'elle revient à dire que ce sont les requis architecturaux et tectoniques qui prévalent sur les outils informatiques. Néanmoins, cette assertion peut interroger par ses accents professionnels peut-être précoces dans le parcours d'étudiants en architecture qui ne se résume pas aux considérations opérationnelles, structurelles ou constructives. Pour définir ce que serait une modélisation en CAO-BIM, Sampaio s'appuie sur l'étude de Azhar et al (Azhar et al., 2008) pour décrire le caractère de base de donnée centralisée autour d'une modélisation 3D

> « BIM is defined as the process of creating building information stored in a centralized virtual model that can be managed allowing exchanging and sharing building data in an interoperable and reusable way […] The resulting product, a Building Information Model, is a data-rich, intelligent and parametric digital representation of the building project. So, as a first perspective, the result of BIM methodology can not only be considered as a virtual representation of a building, an object-oriented three-dimensional (3D) model, but is also a repository of project data» (Sampaio, 2018, p. 59)[456]

Une plus-value majeure de cette modélisation apparait clairement comme étant l'association informationnelle et géométrique. Les entreprises considèrent que les modélisations BIM accélèrent les validations de décisions, améliorent les échanges dans l'équipe et la qualité des produits (Gu and London, 2010). La base de données BIM facilite l'interopérabilité et les échange de données de projet avec les applications logicielles connexes (Eadie et al., 2013)

[455] « Le danger du BIM tel qu'appliqué par des opérateurs inexpérimentés est une mauvaise compréhension du processus de construction basée sur la pseudo-tectonique impliquée par les méthodes de conception qui s'adressent principalement à la production de modèles d'intention de conception par des architectes (ou ingénieurs) sans comprendre les besoins associés de construction. Ce sentiment a été reflété uniformément par toutes les personnes interrogées qui ont noté que la principale qualité qu'elles souhaiteraient voir chez un jeune diplômé est une compréhension (tectonique) de la façon dont un bâtiment est assemblé.» Trad.Gouezou

[456] « Le BIM est défini comme le processus de création d'informations sur les bâtiments stockées dans un modèle virtuel centralisé qui peut être géré permettant l'échange et le partage de données sur les bâtiments d'une manière interopérable et réutilisable. [...] Le produit résultant, un Building Information Model, est une représentation numérique riche en données, intelligente et paramétrique du projet immobilier. Ainsi, dans une première perspective, le résultat de la méthodologie BIM peut non seulement être considéré comme une représentation virtuelle d'un bâtiment, un modèle tridimensionnel (3D) orienté objet, mais aussi comme un référentiel de données de projet. » Trad.Gouezou

> « BIM concerns […] all disciplines of a building design, and its use in several tasks as design simulation, construction planning, or facilities management. The resulting product a Building Information Model, is a data-rich, intelligent and parametric digital representation of the building project. […] the result of BIM methodology can not only be considered as a virtual representation of a building, an object-oriented three-dimensional (3D) model, but is also a repository of project data » (Sampaio, 2018, pp. 59–60) [457]

Sampaio (2018) compile les études spécifiant les approches dimensionnelles (Chen and Luo, 2014) de l'information fondant la modélisation BIM. Elle décompose ces études ainsi : en 3D pour les géométries et des relations spatiales et en 4D pour les plannings, phasages et synchronisations (Chen and Luo, 2014), en 5D pour l'économie ou les coûts (Smith, 2014)[458], en 6D pour les simulations de performances énergétique et « durabilité », en 7D pour les approches patrimoniales de gestion et maintenance. Si la différence entre 6D (simulation de performances) et 7D (gestion patrimoniale et maintenance) nous parait intéressante, même si nous signalons une divergence avec une étude de Aleksander K. Nicała et Wojciech Wodyńskib ramenant la 6D à la gestion patrimoniale et maintenance[459]. Une enquête récente menée en Europe se confronte à ce problème et confirme la décomposition de Sampaio :

> « The research identified 52 papers considering BIM 4D Model, 15 considering 5D modelling, 6 considering the 6D Model and 2 considering the 7D. It was also identified a confusion between academics and practitioners for the 6D and 7D BIM dimensions. In fact, 86% of the professionals, actually using 6D, allocate Sustainability to 6D. Whereas 85% of the professionals using 7D allocate it to Facility Management. » (Charef et al., 2018, p. 1) [460]

Richard Garber énumère les fonctions assurées par la modélisation BIM outre le contrôle visuel, la détection d'incohérences (*clash detection*), le phasage constructif, la description des matériaux :

> « The potential of building information modelling (BIM) is that a single, intelligent, virtual model can be used to satisfy all aspects of the design process including visualisation, checking for spatial conflict, automated parts and assembly production (CAM), construction sequencing, and materials research and testing. » (Garber, 2009b, p. 227)[461]

---

[457] « Le BIM concerne (...) toutes les disciplines de la conception d'un bâtiment et son utilisation dans plusieurs tâches telles que la simulation de conception, la planification de la construction ou la gestion des installations. Le produit qui en résulte, un modèle d'information du bâtiment, est une représentation numérique riche en données, intelligente et paramétrique du projet de construction. Le résultat de la méthodologie BIM peut non seulement être considéré comme une représentation virtuelle d'un bâtiment, un modèle tridimensionnel (3D) orienté objet, mais aussi comme un référentiel de données de projet. » Trad.Gouezou

[458] Ne rajoutons cette référence plus fréquemment citée que la référence portugaise citée par Sampaio

[459] « BIM 6D (sixth-dimensional Building Information Modeling) refers to the post-construction phase (O&M) of the building, however for many 6D stands for 'sustainability' mostly [24]. Indeed both definitions are correct since BIM 6D is primarily oriented to improve FM practices efficiency, which apparently overlaps with the life-cycle performance of the building, hence its sustainability » (Nicał and Wodyński, 2016, p. 301). O & M signifie Opérations and Maintenance, NDLR

[460] « La recherche a permis d'identifier 52 articles sur le modèle BIM 4D, 15 sur la modélisation 5D, 6 sur le modèle 6D et 2 sur le modèle 7D. On a également relevé une confusion entre les universitaires et les praticiens pour les dimensions 6D et 7D de la BIM. En fait, 86 % des professionnels, qui utilisent actuellement 6D, attribuent la durabilité à 6D. Alors que 85% des professionnels utilisant 7D l'attribuent à la gestion du bâtiment » Trad.Gouezou

[461] « Le potentiel de la modélisation de l'information du bâtiment (BIM) est qu'un modèle unique, intelligent et virtuel peut être utilisé pour satisfaire tous les aspects du processus de conception, y compris la visualisation, la vérification

A ces fonctions, nous pourrions ajouter que la modélisation CAO-BIM assure d'autres fonctions stratégiques comme la production automatisée de documents (pièces graphiques, pièces écrites), la gestion des quantités et des métrés, parfois quelques fonctions de simulations environnementales (e.g. études solaires). Daniel Estevez parle de la modélisation géométrique et informationnelle BIM comme d'une représentation unifiée. Si l'emploi du terme de représentation est, selon nous, récusable pour parler du BIM[462], nous souscrivons pleinement à l'idée d'unification de l'objet de travail en CAO qui apparaît, selon nous, comme une voie majeure d'intégration des différentes contributions des participants - architectes ou non - à la conception d'un ouvrage. Estevez explique le caractère unifié du modèle BIM:

> « Aujourd'hui, les outils opérationnels « *Building Information Models* » […] correspondent précisément à l'expression la plus récente et la plus intéressante de ces techniques d'intégration et de partage de données. La représentation unifiée repose ici sur un principe de modélisation informationnelle préalable et structurée de l'espace bâti. Dans les approches BIM notamment, le modèle informationnel est susceptible de décrire de façon exhaustive tout bâtiment en termes de sémantique de ses éléments, de relations entre ceux-ci et de propriétés associées (attributs). […] La cohésion de ce genre de système peut être alors améliorée par l'augmentation de « l'interopérabilité » […] la représentation unifiée existe lorsqu'une base de données centralisée ou son équivalent, formant un modèle consistant de la réalité nourrit toutes les exploitations qui peuvent en être faites et parallèlement est nourrie par ces exploitations.» (Estevez, 2013a, p. 10)

Si nous tentons de reformuler les propositions d'Estevez, nous dirions qu'une modélisation BIM comporterait une modélisation des géométries corrélée avec une modélisation des informations (sémantiques, caractéristiques, attributs, quantité etc.) correspondantes permettant à une approche multi-métier de fonctionner itérativement sur ce seul objet : la modélisation BIM; ce pour la conception, peut-être aussi bientôt pour la fabrication, et pour l'exploitation d'une construction. Daniel Hurtubise, architecte et expert BIM de l'agence RPBW[463], conteste l'interprétation du « M » de l'acronyme BIM, proposant de remplacer la notion de « Modèle » par celle de « Management ». Selon lui, l'objet du BIM serait moins la modélisation que le management - soit la gestion - des informations, vision qui parait plus « dynamique », moins « figeante ». En outre, Hurtubise considère que le terme modélisation est d'autant plus inadéquat que la modélisation 3D serait connue depuis longtemps via les logiciels, ce qui induirait une confusion :

> « Le BIM […] pour moi ce n'est pas de la modélisation mais du management, de la gestion […]. On a toujours fait de la modélisation (i.e Rhino, 3dsmAX), par contre on n'avait pas d'informations gérées derrière. Aujourd'hui j'ai beaucoup plus d'information, ce qui fait que, à mon humble avis, l'acronyme a beaucoup plus de sens si j'utilise management que si j'utilise *modeling* » (Hurtubise, 2016) 10'42"

des conflits spatiaux, la production automatisée de pièces et d'assemblages (FAO), le séquençage de la construction, la recherche et les essais de matériaux. » Trad.Gouezou

462 Même si l'on pressent qu'il s'agirait d'une représentation plus opérationnelle que symbolique.

463 Renzo Piano Building Workshop

De façon plus explicite qu'Estevez cité plus haut, Holzer suggère que les logiciels de conception architecturale glisseraient du principe de représentation à celui de modélisation (Holzer, 2007, p. 3). La représentation d'éléments architecturaux, qui sont par nature tridimensionnels, se déploie en 2D et, inversement l'approche par modélisation s'établit sur une communauté dimensionnelle, en 3D, entre le modèle BIM et l'objet de sa simulation, soit le bâtiment :

> « The architectural design community and design curriculums have started to migrate from CAD, which is focused on geometric modelling, to BIM. BIM technology represents both geometric and non-geometric information (e.g. usability, materials, and the building process) and facilitates interoperability of information for the complete building lifecycle from design, through construction, and to operation. Being a complete information model , BIM facilitates complex simulations and analyses [...] » (Yan et al., 2011, pp. 447–448) [464]

Yan Culp et Graf constatent que l'adoption du BIM se fait aussi aux dépens des outils de CAO de génération précédente, que nous pourrions qualifier de non sémantisées ou de dépourvues de base de données. Christian Girard constate que l'approche par modélisation supplante l'approche par représentation :

> « Avec la simulation non encore arrivée au seuil de la simulation, avant et sans la simulation, donc, nous resterions dans la représentation. Celle-ci établit certes un lien, une connexion, un rapport, comme on voudra, avec la réalité et l'être. En revanche, la représentation est abandonnée pour la présentation : on « entre dans le domaine », on ne se contente plus de le représenter. Le faire et l'action priment sur le visuel, même si la vision garde encore un rôle. » (Girard, 2014a, p. 271)

Pour Girard, c'est la fonction de simulation du modèle qui permet de sortir du principe de représentation et des mystifications qui, selon lui, vont de pair. Nous tenons à souligner, au risque de simplifier le propos de Girard, que cette idée d'abandonner la représentation de l'architecture, annexant le rapport aux documents graphiques, pour adopter une approche par modélisation jugée plus opératoire ressemble à une injonction au réel, supposé inévitable et mieux connu de l'auteur :

> « Ce noble privilège de dissimulation des opérations de conception sous le couvercle de la boîte noire est actuellement retiré à l'architecte sous nos yeux depuis que les techno-sciences du XXIe siècle permettent désormais de modéliser-simuler l'édifice sans perte, de faire partager en temps réel le processus de projet sur un mode collaboratif entre des spécialistes experts dans des dizaines de disciplines qui concourent à ce que le modèle et/ou la simulation de l'édifice couvre le maximum de champs, réponde au maximum de critères qualitatifs identifiables et, in fine, se rapproche le plus d'une exhaustivité faisant de la maquette numérique la réplique la plus exacte et la plus complète de l'édifice, l'automatisation des tâches de fabrication, montage, construction *in situ* parachevant la continuité entre la conception et la réalité physique. » (Girard, 2014a, p. 256)

[464] « La communauté de la conception architecturale et les programmes d'études en conception ont commencé à migrer de la CAO, qui est axée sur la modélisation géométrique, vers la BIM. La technologie BIM représente à la fois géométrique et non-géométrique. » Trad .Gouezou

La vigueur des critiques de Girard ne doit pas occulter la justesse de son analyse concernant l'affaiblissement du ressort fictionnel de la représentation du projet qui, selon lui, résiste mal à la puissance de simulation de la modélisation BIM. Sous le régime de la modélisation BIM, les idées du concepteur pouvant être, par anticipation et sans risque, éprouvées dans la simulation, le rapport au temps en ressort bouleversé : on peut connaître le résultat et les conséquences des décisions architecturales avant la construction. La conception n'est plus tout à fait une anticipation de la construction, avec la notion de temps réel surgit par la simulation, les vérifications d'hypothèses sont disponibles sur le champ. Sachant par avance les conséquences des décisions de conception, les incertitudes tendant à être réduites, l'architecte semble mis à l'abri des risques par la puissance prédictive de la simulation offerte par la modélisation BIM. Girard considère que la progression des outils informatiques dans le domaine de la conception architecturale conduira à réduire l'ambiguïté en architecture :

> « En nous référant à nouveau à Varenne, nous renvoyons à son ouvrage *Théorie, réalité, modèle. Epistémologie des théories et des modèles face au réalisme dans les sciences* ; où dressant un inventaire systématique des variantes de réalisme dans l'épistémologie et la philosophie contemporaines, il met en évidence leur très grande diversité. Un tel foisonnement ne peut que conforter l'architecte dans sa propension à tout mélanger avec tout pour ce qui est des concepts de « réalité » auxquels se rattacher dans la pratique comme dans la théorie de l'architecture. Le problème, nous allons le voir, est que les sciences et technologies de la simulation appliquée au champ de l'architecture ne vont pas permettre aux architectes de s'en tenir très longtemps à ce « flou artistique »- ce dernier qualificatif est celui qu'ils revendiqueraient avec autant de spontanéité que leur souhait de se tenir à proximité immédiate de l' « art ». La simulation computationnelle, en remontant le plus en amont possible dans la chaîne de la conception de projet - du design au sens anglo-saxon - va faire d'elle-même le tri entre différentes idéologies implicites ou explicites chez les architectes. Il n'y aura ni indulgence, ni échappatoire ; juste de l'effectuation, pure et dure. » (Girard, 2014a, p. 251)

La simulation permet de considérer que toutes les décisions de l'architecte ont été vérifiées et sont prises en pleine connaissances des conséquences, les STIC mettent à bas les approches fictionnelles et autres subterfuges en confrontant les architectes à la dure réalité. Sur ce point, pour commenter et contrebalancer l'effet de réel que Girard semble attribuer à la simulation computationnelle, nous pourrions invoquer la pensée de Baudrillard telle que la relate la spécialiste des *Visual Studies* Gillian Rose, qui laisse supposer que le régime « scopique » postmoderne des technologies servent autant au simulât qu'au simulacre :

> « This is what Jean Baudrillard (1988) some time ago dubbed the simulacrum. Baudrillard argued that in postmodernity it is no longer possible to make a distinction between the real and the unreal; images have become detached from any certain relation to a real world with the result that we now live in a scopic regime dominated by simulations, or simulacra. » (Rose, 2001, p. 3)[465]

[465] « C'est ce que Jean Baudrillard (1988) appelait il y a quelque temps le simulacre. Baudrillard soutient que dans la postmodernité, il n'est plus possible de faire la distinction entre le réel et l'irréel ; les images se sont détachées de toute relation certaine au monde réel, de sorte que nous vivons maintenant dans un régime scopique dominé par des simulations, ou simulacra. » Trad.Gouezou

Le recul critique pourrait tout autant s'abattre sur les fantasmes « fictionnels » des architectes que fustige Girard qu'aux fantasmes technophiles, au trop grand enthousiasme des zélotes de l'informatique pouvant confondre le simulât et la réalité. Or, tout comme le modèle critique prôné par Bouleau (Bouleau, 2015), la modélisation informatisée de l'architecture n'est qu'une version possible du réel déterminée par les critères qui la composent et suppose qu'elle autorise des modélisations alternatives, fragmentaires (Alexander, 1977) et dissensuelles (Estevez, 2013b), une pluralité de points de vue sans laquelle il n'y aurait pas la distance critique nécessaire pour déjouer d'autres fantasmes assistés par ordinateurs. Nous pourrions aussi invoquer les mots de Boudon à propos de l'ambigüité inhérente à l'architecture, selon le principe du « à la fois » de Venturi[466]. La critique de Girard fustigeant le flou artistique du champ architectural pose aussi la question de savoir si ce champ architectural ne devrait répondre qu'à des principes de rationalité et d'optimisation. L'intuition, le sens, l'arbitraire, l'inspiration, l'ambigüité et tout ce que comprendrait ce flou artistique dont parle Girard pourrait apparaître, au contraire, constitutif de la conception architecturale. Si nous pouvons reconnaitre que l'informatisation des tâches de conception architecturale aide à sa rationalisation, notamment par la simulation, ou du point de vue de la gestion des informations, nous supposons aussi qu'il faut pourtant continuer à dissocier ce qui est simulé de ce qui est tangible. La visite d'un chantier et une discussion avec les gens qui en ont la charge permettrait de relativiser la portée des STIC. A ce stade, nous supposons qu'après avoir aidé les architectes à visualiser leur projet et à donner accès à un nouveau répertoire formel, grâce aux images de synthèse issues des logiciels modeleurs 3D venant du cinéma, le domaine de la CAO est ensuite entré dans une phase de maturité où la gestion des données, par exemple sous la forme de la CAO-BIM, offrirait les moyens de concevoir des ouvrages complexes avec la maitrise des informations correspondantes. Cette transition de la CAO aux images de synthèses au BIM est commentée par Richard Garber qui distingue la représentation de supposant l'interprétation par opposition à la modélisation de l'architecture qui induirait sa simulation :

> «it is important to note, however, that the formal speculations of the last decade partially laid the foundations for the development and adoption of BIM systems in architectural design. When measured against performance or other optimizing criteria, these speculations seem to intersect with the more pragmatics management tools and construction simulations proffered by information models » (Garber, 2009a, p. 13) [467]

Comme Girard, Garber considère que l'expertise ne se situerait plus au moment de l'interprétation de document mais dès les manipulations de modèles informés :

> « In the contemporary virtual to actual paradigm, interpretation is no longer required because digital information models are already inherently real. As precise three-dimensional concepts

[466] Cf. fin de section 3.1.2

[467] « il est important de noter, cependant, que les spéculations formelles de la dernière décennie ont partiellement jeté les bases du développement et de l'adoption des systèmes BIM dans la conception architecturale. Lorsqu'elles sont mesurées par rapport à des critères de performance ou à d'autres critères d'optimisation, ces spéculations semblent se recouper avec les outils de gestion et les simulations de construction plus pragmatiques que proposent les modèles d'information. » Trad.Gouezou

> are designed, tested, iterated and optimized in virtual space, they need only to be translated, or actualized, into materialized media. A simple exemple would be a serie of panels rationalized on a virtual sheet of plywood to be CNC-cut by a router » (Garber, 2009a, p. 13) [468]

De façon explicite, Garber attribue au modèle d'information numérique, dont la modélisation BIM fait partie, la qualité d'être intrinsèquement réel. Le cumul de l'approche BIM et de la FAO[469] peut en effet conduire à croire que rien ne peut arrêter ce processus d'optimisation de la conception vers la fabrication. Pour critiquer ce qui peut passer pour un manque de recul face aux STICs, nous invoquons la critique de Bouleau envers le modèle « moniste » qui, liant le volontarisme du Positivisme et l'avidité du capitalisme, devient exclusif. Au lieu de croire que la modélisation BIM vaut le réel qu'elle simule, il conviendrait de considérer que la question sémantique et dialectique deviendrait accessible pour peu qu'il puisse y avoir une pluralité de modèles. Garber reformule ce que dit également Girard sur la puissance de simulation des logiciels de CAO-BIM qui simuleraient littéralement l'objet, au point que l'on pense précocement à sa fabrication, la modélisation BIM apparait alors sous l'aspect d'un chantier avant l'heure. La perte de discernement conduisant à croire que la modélisation BIM vaut directement pour l'objet qu'elle simule peut conduire à l'abandon de la notion intermédiaire du projet architectural. Christian Girard suggère que les logiciels de conception architecturale tendent vers le chantier, glissement sur lequel nous insisterons pour fonder notre critique des logiciels de CAO-BIM qui:

> « se rapproche le plus d'une exhaustivité faisant de la maquette numérique la réplique la plus exacte et la plus complète de l'édifice.» (Girard, 2014a, p. 256)

Dès lors, si la modélisation BIM mime le bâtiment achevé, qu'advient-il de la notion de projet ? Il ne serait plus question de cette étape intermédiaire du projet mais d'une modélisation BIM prédiquant directement ce que sera la construction sous la forme de maquette numérique. Selon Bachelard, en science, le projet instaure la médiation entre le sujet et l'objet d'étude (Bachelard, 1934, p. 14). En écho à l'assertion de Bachelard répond la théorie du Signe de Peirce. Pour Pierce le signe est :

> « […] quelque chose qui est déterminé par quelque chose d'autre, appelé objet, et qui par conséquent détermine un effet sur une personne, lequel effet j'appelle son interprétant, que ce dernier est par là même médiatement déterminé par le premier. » (Pierce, 1978, p. 246)

La théorie du signe de Peirce nous aide à comprendre l'intérêt de cette relation triangulaire liant sujet, objet, et le signe représentant cet objet que Pierce appelle *representamen* et qui peut

[468] « Dans le paradigme contemporain virtuel actuel, l'interprétation n'est plus nécessaire car les modèles d'informations numériques sont déjà intrinsèquement réels. Des concepts tridimensionnels précis sont conçus, testés, itérés et optimisés dans l'espace virtuel, ils doivent uniquement être traduits ou actualisés en médias physiques. Un exemple simple serait une série de panneaux rationalisés sur une feuille virtuelle de contreplaqué pour être découpés par un routeur CNC.» Trad.Gouezou

[469] Fabrication assistée par ordinateur

évoquer le projet. Le signe relève de la tiercéité[470] ; modèle triadique du signe entre objet, le sujet qui est l'interprétant et le *représentamen* qui est le signe représentant l'objet. Les recherches de Philippe Marin et José Cuba Segura portant sur le BIM, partiellement fondées sur les bases sémiotiques posées par Charles Peirce, nous éclairent sur le caractère prédictif des simulations résultantes du BIM :

> « en considérant les formulations sémiologiques proposées par Pierce (1932), nous retenons les trois types de signes qui participent à la construction de signification : l'icône qui renvoie à l'objet signifié au moyen d'une ressemblance avec celui-ci, l'indice qui observe une relation plus directe avec la réalité, le symbole qui renvoie à l'objet au moyen d'une convention d'ordre culturelle. Les dessins descriptifs et prescriptifs sont basés sur un ensemble de codes de représentations et de conventions, ils renvoient à une représentation symbolique d'une réalité anticipée. A l'opposé, les représentations par simulation construisent une signification d'ordre iconique et indicielle. La simulation porte en elle une forme d'objectivation de la réalité à travers l'anticipation des phénomènes qu'elle cherche à évaluer et à signifier. La modélisation numérique porte en elle ses propres modes de signification et de compréhension de la réalité.» (Marin and Cuba Segura, 2014, p. 5)

Marin et Cuba Segura confirment que la simulation serait une finalité majeure de la modélisation numérique, et plus précisément que son système significatif fonctionne en circuit fermé. Si nous interprétons leur propos, la sémantique de la modélisation BIM relèverait d'une signification d'ordre iconique en ressemblant au bâtiment qu'il simule au moyen de la vraisemblance géométrique ; elle relèverait aussi d'une signification indicielle en ressemblant à la réalité, par exemple au moyen de valeurs numériques comme des mesures, spécifications ou autres informations performancielles. Mais la modélisation BIM n'aurait pas accès à la signification d'ordre symbolique qui représenterait le bâtiment conventionnellement selon une culture donnée, par exemple par le dessin ou d'autres formes de sémantisation architecturale. Aucun élément de preuve ne nous permet de démontrer que la modélisation BIM tend à supplanter le projet, mais la tendance à la simulation de la réalité semble avérée. Le regard porté sur le potentiel de la modélisation BIM nous a paru parfois excessif et exclusif, parfois confondu avec la réalité. Quel que soit l'enthousiasme technophile pouvant faire croire que le modèle numérique vaut la chose construite, l'architecte est en charge de la conception et non de la construction, il reste donc mécaniquement plus attaché à la notion de projet qui reste le préalable à la construction. Boudon parlait d'un renversement de point de vue entre le bâtiment et le projet visé[471] laissant comprendre qu'un projet peut être une formalisation plus aboutie que sa construction :

> « En écrivant que l'édifice était une représentation-du-projet-qui-l'a-précédé et en inversant ainsi l'image courante que nous nous faisons d'un projet qui serait la représentation d'un édifice

[470] Dans le cas de sa relation avec l'*objet*, le signe est désigné par Peirce comme le référent, sauf dans le cas où ce référent est absent, il devient alors le *qualisigne* désignant l'*objet* par sa qualité. Dans le cas de sa relation avec le *sujet*, Peirce le désigne comme le signifié sauf dans le cas où se signe est perçu du point de vue du *sujet*, il devient alors le « Rhême ».

[471] Philippe Boudon aurait dit oralement qu'un bâtiment peut parfois être vu comme une illustration du projet de l'architecte.

> au profit de celle d'un édifice qui est la re-présentation du projet, il s'agissait de déplacer l'objet architecture vers sa conception et de constituer ainsi l'objet - au sens scientifique du terme cette fois - de l'architecturologie qui se situe alors à deux niveaux distincts comme on le verra, la conception et l'espace de conception. Si les objets architecturaux sont très généralement compris comme des objets perçus, ils doivent d'abord, pour pouvoir être perçus, avoir été conçus. » (P. Boudon, 2003, pp. 12–13)

Boudon, en renversant l'acception classique, insiste sur la distinction entre conception et construction en envisageant le projet comme une expression qui serait plus achevée que la réalisation reléguée au rang de représentation du projet parmi d'autres. De ce point de vue, on suppose que les intentions de l'architecte peuvent effectivement être mieux traduites par les représentations que par l'objet construit. A quoi la modélisation BIM tend-elle ? représente-t-elle plutôt le projet ou plutôt un chantier avant l'heure ? L'aspect prédictif de la modélisation BIM peut rassurer en permettant d'évaluer en avance une décision de conception mais nous considérons que cette réduction drastique du risque qui en résulte, si elle peut bénéficier à la construction, peut nuire à la conception en contrevenant foncièrement à la notion de Projet et au génie inventif qu'il suppose et qui ne peut être réduit à des activités de *problem solving*. Nous proposons de distinguer le projet de sa modélisation BIM sur les critères suivants. La simulation : la modélisation BIM d'une conception architecturale est un système réduit simulant, au plus proche, la construction dans son expression la plus achevée. La littéralité : La modélisation BIM confronte directement sujet architecte-sujet et construction-objet, réunissant *Tecton* et *Technos*, conception et construction ; elle consiste, d'un certain point de vue, en un chantier avant l'heure. L'acontextualité : la modélisation BIM est sourde au contexte, contrairement au projet architectural qui serait une approche élargie d'un système de problèmes qui situe une proposition architecturale dans son contexte élargi et de façon suffisamment exhaustive et sensible pour produire des principes généraux, des orientations organisatrices, les règles que Choay tire d'Alberti.

3.3.7. Notions de modèles

La notion de modèle n'est ni univoque ni exclusive au champ architectural, diverses acceptions du terme valent aussi dans d'autres domaines et nous souhaitons voir si elles peuvent nous éclairer dans notre critique du concept. Michel Serres attribue la paternité du concept de modèle à Thalès :

> « Même si Michel Serres écrit bien que Thalès, inventant le modèle, « invente l'échelle », car ce faisant il invente, au contraire de ce que le terme d'échelle implique généralement s'agissant d'architecture, une règle qui ramène au « semblable » des figures indépendamment de leur taille, laquelle est essentielle à l'espace architectural » (Philippe Boudon, 2003a, p. 15)[472]

[472] Boudon cite Serres et Mandelbrot «cf. SERRES Michel, « Thalès au pied des pyramides in *Hommage à Hyppolite*, Paris, Presses universitaires de France, 1971. On trouve la même occultation du problème de l'échelle, a fortiori, dans le cas des figures scalantes de Mandelbrot qui pourtant fascinent tant les architectes (MANDELBROT Benoît, Les objets fractals, Paris, Flammarion, 1975).» in (Philippe Boudon, 2003a, p. 15)

En architecture, la relation entre échelle et mesure est prégnante, par exemple sur les documents d'architecte. Nous dirions que la notion de dimensionnement est multifactorielle (usages humains, les normes, les procédés de fabrications, etc.) :

> « Cette échelle du géomètre - qui est celle du cartographe aussi bien - implique la proportion qui de son côté ne va pas sans elle. L'architecte, cartographe à sa manière, l'utilise bien aussi mais dans l'ordre de la représentation, tandis que dans l'ordre de la conception, elle ne saurait avoir cours que comme fausse représentation du travail de conception. Mais Viollet-le-Duc, qui est le premier à distinguer l'échelle de la proportion, a écrit "en architecture, on ne peut pas dire que 2 est à 4 comme 200 est à 400. » (Boudon, 2002, pp. 63–64)

En architecture le concept d'échelle et les dimensions seraient inséparables. Au-delà des questions de réduction scalaire, l'architecturologie a étudié d'autres acceptions du concept d'échelle comme l'appréhension des composants du projet d'architecture, en désignant vingt échelles permettant à l'architecte de conférer divers motifs de dimensionnement (Boudon, 2002, pp. 57–58) à son projet d'architecture. Boudon a œuvré à l'étude de la conception architecturale, soit l'Architecturologie, il postule que tout dans l'architecture ne relève pas de la seule rationalité, et que certaines tâches créatives échappent à l'analyse architecturologique. Ainsi, les raisons justifiant de la forme et du dimensionnement des composants architecturaux sont éminemment multiples et complexes :

> « Les différentes mesures - dont la longueur de ma salle de bain - entrent dans un ensemble d'autres mesures qui, reliées entre elles, forment sans doute à ses yeux un système. Les relations entre les mesures peuvent alors être de divers ordres, désignables par des graphes de complexités diverses, parmi lesquels l'arbre ou à l'opposé, cas extrême, elles peuvent être indépendantes entre elles. Je suis tout d'un coup effrayé d'une telle complexité à laquelle s'ajoute le fait que la longueur de ma salle de bain soit égale à la largeur de ma cuisine, alors que, dans le fond, une salle de bain est une chose simple dont on a en tête de multiples domaines. Voici donc une longueur déterminée. Elle est même surdéterminée, la largeur de ma cuisine étant elle-même égale à la cage d'ascenseur additionnée au palier et à l'escalier... » (Boudon, 2002, pp. 57–58)

Les questions de mesure singularisent l'échelle architecturale, les dimensionnements sont motivés par diverses raisons (normes, standards, usages, fabrication, etc.,) qui ne sont pas harmonisés et doivent être réglés pendant l'étude du projet, pour que le résultat final semble cohérent. En fait, les architecturologues ont relevé vingt échelles architecturologiques pouvant expliquer les formes et dimensions d'un élément architectural. Mais, dans d'autres domaines, la notion de modèle revêt d'autres acceptions qui peuvent éclairer notre critique du modèle architectural en général et du modèle BIM en particulier. Le mot modèle pose d'emblée un problème d'acception tant ses définitions semblent larges. Jean-Marie Legay nous renseigne sur l'étymologie du mot modèle :

> « Le vieux mot français *modelle* signifiait ''moule'' et comprenait une idée de mesure, issue du latin *modulus* dont il provient sans doute par l'intermédiaire du latin populaire *modellus* et de l'italien *modello*. Le mot ''modèle'' serait donc un emprunt à l'italien depuis le XVIe siècle. Il était alors employé dans le sens d'une représentation miniature de ce qui sera construit en grand (au sens de ''modèle réduit'' ou de ''prototype''). Il a pris au cours des siècles suivants le sens

> d''objet référent'', puis d' ''idéal à imiter''. Et dans beaucoup de langues, le terme de modèle connaît des variations qui s'accompagnent de nuances de sens : *model* et *modell* en allemand, *modula* et *modello* en italien, etc. » (Legay, 1997a, pp. 22–23)

Outre ces notions d'échelle (miniaturisation) et d'exemplarité (référence), Legay convient comme Deshayes, des difficultés à proposer une définition unifiée du mot modèle, Legay explique sa stratégie de définition en se tournant vers des requis scientifiques :

> « Il y a donc une décision à prendre. Celle que j'ai prise, c'est de donner au modèle dans le cadre de la recherche scientifique une acception instrumentale » (Legay, 1997b, p. 23)

Cette acception instrumentale fait écho à celle de Le Moigne qualifiant le concept de modèle de roturier : vu ainsi le modèle ne représente pas une finalité mais un outil pratique, presque un brouillon, pour le projet. Nicolas Bouleau contextualise l'introduction du terme en France à partir de la renaissance italienne à partir de pratiques artistiques dont l'architecture :

> « Historiquement le terme de modèle est arrivé d'Italie en France à la Renaissance et désignait la personne qui pose dans l'atelier du peintre ou du sculpteur ou la maquette qui préfigure le bâtiment à réaliser. A l'origine le modèle est ce qu'il faut copier. Aujourd'hui, par un retournement linguistique fréquent, il désigne plutôt ce qui copie la réalité étudiée. » (Bouleau, 2001, p. 2)

L'acception de la notion de modèle comme exemple apparait ici clairement dans la notion de copie, en notant l'inversion mentionnée par Bouleau car, aujourd'hui les modèles tendent à simuler la complexité du monde. Le Moigne nous renseigne aussi sur cette notion de modèle en la posant comme le substitut pratique ayant pratiquement supplanté les précédentes modalités de recherche scientifique :

> « Une riche étude de S. Bachelard (1983) mentionne son apparition au début du XXe siècle, par un article "Model» publié par l'*Encyclopaedia Britanica* en 1902, article dû au grand L. Boltzman ; lequel avait auparavant publié un article dans un "catalogue (allemand) de modèles de physique mathématique". Les encyclopédistes du XVIIIe siècle parlaient volontiers de système pour désigner, à peu près, ce que nous entendons aujourd'hui par modèle scientifique ou technique. Auparavant lois (... de Kepler) ou principes (... de Newton) semblaient faire l'affaire avant que ne s'installe le concept de théorie, lequel défend aujourd'hui encore avec énergie la noblesse de son statut face aux empiétements présumés du roturier concept de modèle » (Le Moigne, 1987, pp. 1–2)

Modèle peut être employé en Mathématique pour désigner un objet d'étude, ou en Astrophysique pour étudier des phénomènes dont l'éloignement imposent la simulation pour les étudier à distance ; ces acceptions de la notion du terme modèle vont, bien sûr, bien au-delà de la simple modélisation géométrique. Les informations aussi peuvent intégrer une modélisation de manière à permettre tout type de simulation (thermodynamique, mathématique, paléo-biologique, thermique, structurelle, économique, quantitative, etc.). Philippe Deshayes présente les implications de l'informatique dans les activités typiquement scientifiques de quantification et de catégorisation :

> «Aux enjeux de mesure et de quantification d'hier (Bachelard), s'ajoute aujourd'hui celui de la capacité de traitement de symboles (plus que de données) via des outils de calcul et de résolution (H.A.Simon). Il n'y a de sciences que du mesurable et du " traitable " » (Deshayes, 2009, p. 2)

Le terme de modèle à pourrait renvoyer à l'idée de simulation d'un système complexe, ayant souvent recours aux mathématiques, pour produire des connaissances. Dans ce sens, le modèle serait plutôt un moyen d'accomplir un projet. Nous proposerions alors de voir le modèle comme une réduction ou une réplique simulant un système complexe par accumulation de données, dont un des moyens majeurs de prédiction serait son recours aux mathématiques et dont l'objectif est de simuler le réel. Le Moigne cite l'assertion de Suzanne Bachelard :

> « Le modèle est un intermédiaire à qui nous déléguons la fonction de connaissance » (Le Moigne, 1987, p. 3)

Dans ce sens, le modèle serait - comme le projet - le substitut d'un objet inappréhendable autrement que par la simulation : le modèle se substituerait à l'expérience scientifique dans certaines circonstances. En CAO, comme en astrophysique ou comme en mathématique, le modèle se substitue à l'objet absent ou inaccessible (e.g. un bâtiment qui n'existe pas encore, un trou noir, une équation trop abstraite, etc.). Objectivant, il est censé éviter tout biais humain de perception et d'interprétation, et de valoir à titre d'exemple, de modèle à copier ou appliquer. L'expression du sinologue et philosophe François Jullien, les « yeux rivés sur le modèle » (Jullien, 1996) , exprime le caractère contraignant et aveuglant que peut revêtir l'acception occidentale du modèle. Jullien oppose la notion de stratégie plutôt occidentale et trop planificatrice car étant enferrée par son modèle, à celle de tactique supposée plutôt asiatique, particulièrement adaptée aux contingences, plus circonstancielle et opportuniste :

> « Voici que nous rencontrons, en Chine, une pensée de l'efficacité qui, ne projetant aucun plan sur le cours des choses, n'a pas, non plus, à envisager la conduite sous cet angle moyens-fins : celle-ci, dès lors, résulte non d'une application (la théorie conçue d'avance venant recouvrir du réel, de façon à pouvoir ensuite le calquer sur elle), mais plutôt d'une exploitation (en mettant à profit le potentiel impliqué dans une situation donnée) » (Jullien, 1996, p. 50)

Une opposition comparable à celle de Jullien (entre Stratégie-modèle et tactiques-situation) est établie par Françoise Choay (Choay, 1998) entre la règle (Albertienne), circonstanciée et contextualisée, et le modèle utopique de Thomas More, sourd au contexte ; Choay montre que les domaines architectural et urbain se sont déjà heurtés au modèle qui serait ici sourd aux situations et au contexte. Françoise Choay décrit la règle comme étant plus amène et ouverte que le modèle. En tant que bornage de l'espace des possibles, la règle induit un jeu tandis que le modèle univoque de More permet peu. Schön explicite l'importance du rôle du contexte et des situations associées dans le processus du projet architectural. Dans la lignée des concepts de Nelson Goodman sur l'activité créative comme « construction d'un monde », Schön détaille le processus d'échange auquel se livrent les concepteurs non seulement avec un contexte donné, mais aussi avec la situation afférente et tous les paramètres attachés :

> « Designers, it will be argued, are in transaction with a design situation*; they respond to the demands and possibilities of a design situation, which, in turn, they help to create. The author's phrase 'reflective conversation with the situation' refers to a particularly important kind of design transaction, with several family-resembling meanings » (Schön, 1991, p. 4) [473]

La formule « conversation réflexive avec la situation » désigne l'aspect transactionnel qu'instaure le concepteur avec la situation existante pour établir quelle serait la situation désirée par lui, un modèle de projet répondrait un modèle de l'existant, tous deux étant plus ou moins contextuels. Schön distingue les situations de conception qui sont matérielle et extérieure, ou sensorielle et intérieure, ou innovant et partageable, ou sociale et interpersonnelle. Schön rapproche la notion de contexte de celle de situation pour rappeler ces quatre propriétés de l'activité de conception : elle est basée sur des éléments tangibles, ses représentations sont également tangibles et aident à l'appropriation d'une situation en aidant le concepteur à formaliser son « monde construit » ; à l'origine, un concepteur peut-être seul mais il finira toujours par communiquer son projet. Ces quatre aspects de l'activité de conception sont résumés par la formule de Schön, « conversation réflective avec la situation », dont le dessin libre est un des *medium*s majeurs. Il semble que le « monde construit » dont parlent Goodman puis Schön serait une entité cohérente très proche de la notion de projet. A la lumière de Schön, il apparaît donc impossible d'attendre du concepteur qu'il aborde une tâche de conception donnée comme s'il s'agissait de résoudre un problème : le modèle qu'il utilise est moins autoritaire que celui de More qu'invoquait Choay. Schön propose que la résolution de problème suppose simultanément un effort de compréhension empathique de la situation et une démarche de transformation :

> « When the practitioner tries to solve the problem he has set, he seeks both to understand the situation and to change it » (Schön, 1983, p. 134) [474]

Si l'on envisage la notion de règle non pas en tant que contrainte lourde mais comme moyen du jeu, nous dirions alors que la règle serait projectuelle par sa frugalité, et plus laconique que le modèle supposé trop exhaustif et moins permissif. Mais la pluralité et l'aménité au contexte n'est pas inaccessible au modèle. Pour Deshayes ou Le Moigne, il est surtout multiple. Le Moigne pose que la modélisation induit une pluralité de modèles et de méthodes de modélisation :

> « La modélisation [scientifique. NDLR] postule a priori non seulement la pluralité des modèles concevables d'un même phénomène, mais surtout la pluralité des méthodes de modélisation » (Le Moigne, 1984, p. 14)

[473] « Les concepteurs, argumenterons-nous, sont en relation avec une situation de conception* ; ils répondent aux exigences et aux possibilités d'une situation de conception, qu'ils aident à créer à leur tour. L'expression de l'auteur " conversation réflective avec la situation " fait référence à un type particulièrement important de transaction de conception, avec plusieurs catégories. »Trad.Gouezou

[474] « Lorsque le praticien tente de résoudre le problème qu'il a posé, il cherche à la fois à comprendre la situation et à la changer. » Trad.Gouezou

Une défense de la pluralité des points de vue que partage Nicolas Bouleau qu'il traduit par une grande aménité quant aux langages convoqués par la modélisation :

> « La modélisation brise le partage entre langage scientifique et langage ordinaire, on peut dire son point de vue avec des chiffres, des symboles, des relations, des covariances… En plus des mots, on a des équations pour le dire ! Cela change la force des discours et les voies de la critique. » (Bouleau, 2015, p. 11)

Notons qu'un modèle reste souvent mathématisé dans une pluralité correspondant à celle des langages mathématiques qui n'ont pas d'unité sémantique, d'après Bouleau, qui décrit les « dialectes » des sous-domaines du domaine comme le calcul infinitésimal (Bouleau, 2015, pp. 39–42), les géométries non euclidiennes (Bouleau, 2015, pp. 42–43) ou la notation exponentielle (Bouleau, 2015, p. 49). Par exemple, en astrophysique, un modèle mathématique peut formaliser la fusion de deux trous noirs et permettre de conjecturer sur les ondes gravitationnelles résultantes, alors que ces objets sont physiquement inaccessibles. En sciences pour l'ingénieur (SPI), le modèle est le support de la cognition œuvrant à une construction mentale qui préfigure l'objet visé et qui n'existe pas encore. Ici Le Moigne se réfère à la métaphore de l'abeille et de l'architecte due à Marx :

> « le modèle de la cellule construit dans la tête du modélisateur AVANT que la cellule ne soit connaissable, avant qu'elle ne soit peut-être objet de connaissance, ce modèle est familier à chacun bien qu'il soit inconstructible par l'analyse, ou la découpe, de cet objet... qui n'existe pas, ou pas encore. On n'invente que ce qui n'existe pas (6) concluait Quatremère de Quincy s'interrogeant sur le paradoxal processus de modélisation de l'architecte ou de l'Ingénieur : mais comment invente-t-on ? G.B. Vico, dès 1708 dans la Méthode des études de notre Temps (7) interpellait avec pertinence l'analyse cartésienne : si on l'applique avec rigueur, elle interdit l'invention, elle ne permet que la reproduction. Inventer, concevoir, c'est chercher ce qui n'existe pas et pourtant le trouver, s'étonnait Quatremère, citant Plaute, dans "de l'Imitation" (p. 176). Chercher ET trouver ce qui n'existe pas, ce n'est plus établir la connaissance d'un objet ; c'est quasi nécessairement, construire la connaissance d'un Projet. Pour chercher, il faut un chercheur intentionnel, qui quête ("*to search*") une connaissance dans l'acte même de la construire. » (Le Moigne, 1987, p. 5)

On ne cherche pas ici à connaitre analytiquement, objectivement un objet mais à produire le système de connaissance d'un objet absent ou à inventer, soit le projet. La dynamique de la modélisation systémique reposerait sur des conjectures ou bonds créatifs (*creative leap*)[475] soutenus par une intuition ou intention, une implication personnelle que la notion d'invention peut justifier et qui est supérieure à ce qui peut être observé dans la recherche analytique. Ce que dit ici Le Moigne, c'est qu'il ne pourrait y avoir de modèle viable sans visée, sans intentions liées à un ordre plus grand. En science aussi, l'approche par projet a de la valeur, comme l'a montré Le Moigne, où l'intuition, nous n'osons dire la « créativité », sont possibles. L'épistémologue Gerald Holton décrit à quel point, en science aussi, on ne peut pas travailler dans le contrôle total. L'intuition est naturellement sollicitée pour conjecturer, se jeter à l'eau.

[475] Expression utilisée par Einstein pour expliquer à Solovine que sa recherche est par moment intuitive

S'appuyant sur l'exemple d'Albert Einstein et de son bond créatif, Holton explique l'approche à la fois visuelle et intuitive conduisant Einstein à faire des paris hors des sentiers battus par la discipline :

> « La réponse d'Einstein (lettre [à Solovine] du 7 mai 1952) contient une explication digne d'être retenue des rôles respectifs de l'expérience sensible, de l'intuition et de la logique dans le fonctionnement de l'imagination. Il sera facile de comprendre pourquoi je suis souvent revenu à ce passage de la lettre d'Einstein. Il commence son explication à Solovine par la phrase : "Schématiquement, je vois le problème de cette façon". Suit alors un diagramme, ce qui n'est pas surprenant quand on sait la préférence d'Einstein pour la pensée visuelle. [...] Cela symbolise ce qu'on peut nommer un bond platonicien hardi, une tentative "largement spéculative", un "tâtonnement constructif" ou un saut désespéré de l'imagination quand il semble ne pas exister d'autres voies. » (Holton, 2004, p. 28)

Si nous adoptons la dichotomie entre les modélisations analytiques et systémiques introduite par Le Moigne, la vision d'Holton montre que les sciences exactes dites « dures » ne peuvent être réduites au seul qualificatif d'analytique, des intentions projectuelles ou des aspects inventifs ne sont pas proscrits et peuvent y être observés. La vision de Le Moigne fait sens mais elle ne constitue pas une vérité absolue. Nicolas Bouleau se démarque des acceptions trop orthodoxes de la modélisation analytique pour lesquels la distanciation objective est un requis dans la production d'une vérité scientifique. Il préfère partir d'un point de vue polysémique de la modélisation projectuelle où l'engagement du chercheur est supérieur, non pas qu'il souhaite distordre la réalité mais il souhaite pouvoir la modéliser sans succomber à la tentation d'être monosémique, catégorique, « moniste ». Il considère ainsi le modèle comme des représentations interprétables basées sur plusieurs régimes logiques et plusieurs langages (Bouleau, 2015, p. 30). Les travaux de Bouleau aident à comprendre les origines d'une acception rigide et univoque - qu'il nomme « moniste » - de la science. Bouleau parle de la dimension focalisatrice de la modélisation en indiquant un lien avec le concept de paradigme de Kuhn, qu'il considère comme moniste par ailleurs :

> « Dans la science, le terme de modèle a pris un sens particulier. On l'emploie en physique pour signifier une représentation simplifiée destinée à faire comprendre. Les modèles (modèle d'atome de Bohr, modèle de thermodynamique statistique d'Ehrenfest, etc.) sont des cas types, voisins philosophiquement des paradigmes de Thomas Kuhn, qui laissent de côté certaines complications pour mettre en évidence un phénomène. » (Bouleau, 2001, p. 2)

Bouleau semble attribuer la paternité de ce monisme à l'association du Positivisme avec les dynamiques de la révolution industrielle produisant une vision conquérante de la nature peu amène et peu ouverte au débat contradictoire :

> « Le positivisme tire son origine, au début du 17e siècle, du programme de Francis Bacon de domination de la nature grâce à la science, programme repris par d'Alembert puis amplifié au 19e siècle par Auguste Comte et Ernest Renan. S'il est devenu une référence officielle aujourd'hui […] c'est qu'il a été dynamisé par une sorte de moteur à trois temps qui s'est mis en place politiquement dans la seconde moitié du 20e siècle : science / économie libérale / théorie de l'évolution. Le soutien idéologique qu'apporte la science dans cette trilogie est de cautionner l'idée qu'il n'y a pas d'alternative car dans l'opinion, et pour beaucoup de

> scientifiques, la science est unitaire et son cours est absolu. Grâce à ce triptyque, le nouveau positivisme se place du côté du pragmatisme, ses acteurs sont déniaisés et ses adversaires sont relégués vers les idéalismes angéliques » (Bouleau, 2005, p. 465)

Le nouveau positivisme décrié ici par Bouleau caractériserait une vision néo-libérale de l'économie associées au NTIC[476], à l'image, par exemple, du mouvement trans-humaniste, ou d'un pragmatisme conquérant prompt à ringardiser l' « ancien monde ». Mais la critique de Bouleau s'adresse aussi aux visions « moniste » de la seule Science telles celles des épistémologues des sciences comme Kuhn (vision paradigmatique du fait scientifique) ou Karl Popper conceptualisant la méthode de découvertes scientifiques par la notion devenue critère de falsifiabilité commandant qu'une théorie est scientifique si elle est réfutable, qui est un critère poppérien (Bouleau, 2015, chap. 5) :

> « devenu norme, on peut dire quasi universelle, pour certifier une démarche scientifique » (Bouleau, 2015, p. 63)

Bouleau leur reproche leur caractère absolu et unitaire, cherchant à définir la scientificité et la rationalité scientifique avec une observance respectueuse des méthodes scientifiques et, inversement, une certaine déconsidération de l'objet étudié :

> « On provoque la nature en combat singulier, la loyauté de la joute étant de respecter les hypothèses qui vont gouverner les règles protocolaires de l'expérience. Il faut aussi assurer la production de connaissances qui nous disent comment est le monde » (Bouleau, 2015, p. 119)

A l'opposé de cet esprit de défiance, Bouleau prône une approche plurielle et ouverte au débat contradictoire, ce que rend possible la « plasticité » de la notion « roturière » et « instrumentale » du modèle :

> « La modélisation, par l'étendue et la souplesse de son langage, peut faire apparaître des conséquences de certains usages de la technique. Elle peut parler là où la science « ne pense pas », c'est-à-dire sur les conséquences et enjeux de la science elle-même. Elle se trouve donc être l'instrument privilégié de la critique, ce qui nous amène maintenant à la question typiquement politique de savoir par qui peut être menée cette critique. » (Bouleau, 2005, p. 466)

Bouleau présente les aspects opérationnels et critiques de la notion de modélisation qui semble adaptée au travail « sur le terrain même » de la science, avec l'engagement que suppose l'approche par projet. Il expose le rôle des mathématiques qui donne aux modélisations leur cadre formel et des représentations contradictoires de phénomènes simulés aboutissant à la présentation de « co-vérités » (Bouleau, 2015, p. 120). Cette aménité du modèle envers des résultats ambivalents ou contradictoires que Bouleau nomme co-vérité nous évoque l'approche projectuelle de la science défendue par Le Moigne opposant la science analytique fondée sur l'objet à la science systémique fondée sur le projet. L'intention de projet, le *telos*, justifie que l'attention ne se porte pas sur la production d'une vérité scientifique, d'une connaissance, mais sur un système de connaissance éclairant le projet scientifique dans son ensemble, ce qui

[476] Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

explique pourquoi il qualifie le modèle de dispositif scientifique « roturier » : il sert pratiquement au projet, étant l'instrument de la grande implication du scientifique-concepteur. Le Moigne cite la proposition de Suzanne Bachelard en considérant la dimension expérimentale du modèle:

> « Il nous faut désormais reconnaître le modèle dans sa complexité potentielle : il n'a pas de réalité, il n'est rien d'autre que sa fonction : modèle de, modèle pour, il renvoie à autre chose que lui-même et sa fonction est une fonction de délégation. Le modèle est un intermédiaire à qui nous déléguons la fonction de connaissance (S. Bachelard, 1983, p. 3). Et rien ne nous contraints a priori à limiter cette fonction de connaissance à une fonction de réduction (de l'encore énigmatique), comme l'écrivait S. Bachelard, il est vrai, dans un environnement culturel où le réductionnisme était encore tenu pour solide caution de scientificité ! » (Le Moigne, 1987, p. 3)

Le Moigne exprime ici la nature instrumentale, transitoire du modèle comme intercesseur entre le scientifique et le projet qu'il étudie. Bouleau introduit une distinction intéressante entre les notions de modèle et de modélisation exprimant plus encore la modélisation comme outil de la pensée scientifique:

> « Dans la science, le terme de modèle a pris un sens particulier. On l'emploie en physique pour signifier une représentation simplifiée destinée à faire comprendre. Les modèles […] sont des cas types, voisins philosophiquement des paradigmes de Thomas Kuhn, qui laissent de côté certaines complications pour mettre en évidence un phénomène. […] La notion de modélisation est plus large. Elle désigne l'élaboration d'une représentation utilisant les langages de la science et les possibilités de l'informatique répondant à une préoccupation opérationnelle et préparant des décisions et des actions. La modélisation utilise à la fois le langage ordinaire et celui des sciences » (Bouleau, 2001, p. 2)

Les bases de la modélisation proviennent des mathématiques et de l'informatique, son caractère d'exemplarité viendrait du monde de l'art. La simulation d'une portion de système ou de réalité ne vise pas la production de connaissances ou théorique en soi mais obéirait à des fins opérationnelles. La modélisation se prêterait aux approches expérimentales, itératives et incrémentales suivant une intention projectuelle, servirait d'aide à la prise de décision et à l'action, favorable aux domaines « systémiques » de conception plus qu'aux domaines de sciences dures « analytiques » . Bouleau décrit cette vision pragmatique de la modélisation:

> « Elle désigne l'élaboration d'une représentation utilisant les langages de la science et les possibilités de l'informatique répondant à une préoccupation opérationnelle et préparant des décisions et des actions. La modélisation utilise à la fois le langage ordinaire et celui des sciences. » (Bouleau, 2001, p. 2)

Bouleau distingue les notions de modélisation et des démarches purement scientifiques en attribuant trois caractéristiques à la modélisation (Bouleau, 2001, p. 2,3), la spécifiant et la rendant prosaïque. Premièrement, il considère que la modélisation est inscrite dans un « site social particulier » qui aide à adapter la modélisation à ses utilisateurs. Deuxièmement il considère qu'elle utilise un langage hybride qui aide à la spécification de la modélisation par rapport aux besoins de simulation. Troisièmement, il considère qu'elles sont soumises à des

phénomènes de sous-détermination. Cette troisième caractéristique est complexe à exposer, Bouleau se réfère aux travaux du philosophe des sciences, logicien et mathématicien Willard Quine confrontés aux problèmes de traduction (Quine, 1978) pour décrire l'impact des expériences sur la modélisation :

> « Elle est sous-déterminée par l'expérience. Il y a bien sûr plusieurs façons de modéliser, on peut prendre la situation sous divers angles de vue. Mais il est une indétermination beaucoup plus profonde due à la dimension interprétative des signes et des représentations utilisés » (Bouleau, 2005, p. 459)

Selon Bouleau, la modélisation est contextualisée, son langage est circonstanciel, et elle à une résonnance empirique pour ce qui concerne les concepteurs experts. La modélisation correspondrait à une visée prosaïque et opérationnelle de la recherche s'accommodant de variations paramétriques produisant des résultats alternatifs :

> « Ces situations « quiniennes » et non « poppériennes » sont les plus fréquentes en modélisation : plusieurs modélisations peuvent rester en lice malgré toutes les expériences qu'on fera : elles interprètent différemment les données. Même les critères de simplicité ne sauraient les hiérarchiser absolument » (Bouleau, 2001, p. 463)

Finalement, Bouleau n'exclut pas que la détermination de la modélisation par son concepteur ne biaise la simulation résultante. Il est facile de comprendre que le spectre des hypothèses éprouvées est limité par rapport, par exemple, aux possibilités d'un cas de conception architecturale. Mais il propose que l'on puisse considérer des hypothèses et des modélisations alternatives :

> « Cela constitue un énorme travail de s'extirper de toutes les hypothèses implicites du modèle. De plus évidemment le modélisateur n'en voit pas l'intérêt. Il pense son modèle perfectible, amendable, mais reste convaincu que la langue qu'il utilise est à même d'épouser asymptotiquement toute la réalité. D'où son goût pour les procédures de validation comme seul examen de passage. L'unique façon de critiquer une modélisation est d'en construire une autre fondée sur d'autres principes. C'est un appel à la rationalité externe, c'est-à-dire à la socio diversité des points de vues et des lectures du monde » (Bouleau, 2005, p. 464)

Bouleau dit que le recours critique contre une modélisation donnée serait une modélisation alternative, ce que nous interprétons comme une invitation à ne pas avoir une vision univoque, absolue, « moniste » de la modélisation. Outre la modélisation alternative, nous pouvons rappeler une approche complémentaire du *pattern* d'Alexander commentés par Estevez qui explique bien que le « deuxième » Alexander est lui aussi moins orthodoxe, moins docte. Estevez explique l'évolution de l'approche de Christopher Alexander, d'abord très centré sur des modèles inspirés des modèles linguistiques de Chomsky:

> « Dans le premier, *Notes on the synthesis of form* publié en 1964, Alexander propose, à l'instar de nombreux chercheurs de l'époque, un modèle algorithmique de la conception en tant que résolution de problème reposant sur des principes de décomposition hiérarchique des problèmes de combinatoire, d'arbres de dérivation ou encore d'optimisation de contraintes.[…] Christopher Alexander, sans renoncer entièrement aux approches linguistiques qui présidaient à sa vision initiale de la conception architecturale, donna donc par la suite un tour très différent

> à ses travaux avec son deuxième ouvrage phare intitulé *A pattern language* et publié en 1977. Dans ce livre la conception n'est plus appréhendée comme un exercice de résolution de problème mais comme une tâche d'expression reposant non sur l'usage de modèles ou de procédés prescrits, mais sur l'interprétation par le lecteur de motifs d'usage précis, reliés à des qualités spatiales, sociales et constructives. » (Estevez, 2015, p. 91.92)

Au lieu d'imposer une théorie complète dotée des modèles correspondants, il propose des fragments de modèles manipulables et articulables entre eux sous forme de *patterns*, combinables qui semblaient plus pratiques que dogmatiques, se prêtant mieux aux expérimentations, interprétations plus conformes à la pratique de conception du projet architectural, avec pratiques relationnelles, associatives et dialectiques qu'elle suppose. En somme, la difficulté de traduire cet usage spécifique du terme *pattern* en français pourrait être résolue en proposant « fragment de modèle » agissant comme une brique conceptuelle ; et en se gardant bien d'évoquer la notion d'un modèle complet et totalisant. Il serait illusoire de limiter cette approche plus intuitive à la seule conception architecturale. La vision systémique et projectuelle de Le Moigne, celle, fragmentée, du *pattern* d'Alexander, ou celle, polysémique et plurielle, de Bouleau montrent la différence entre la vision univoque ou « moniste » du modèle supposé démontrer une vérité scientifique et la vision plurielle et fragmentée de la modélisation prise comme un moyen de travailler. De même, la modélisation BIM unique (e.g de niveau 3) supposée incarner exhaustivement le projet de bâtiment n'est pas la même chose que des fragments de modélisation BIM ou des modélisations alternatives : cette dernière acception instrumentale et plurielle nous parait plus soutenable et souhaitable. Nous critiquons la forme analytique de modélisation BIM en pointant son monosémisme et son aspect monolithique, la considérant comme mécaniquement pressante et exhaustive. La modélisation BIM, lorsqu'elle est moniste, peut évoquer une forme « mécanique » d'arrogance et de dogmatisme dans un sens proche de celui du sémiologue Roland Barthes :

> « Je réunis sous le nom d'arrogance tous les « gestes » (de parole) qui constituent des discours d'intimidation, de sujétion, de domination, d'assertion, de superbe : qui se placent sous l'autorité, la garantie d'une vérité dogmatique, ou d'une demande qui ne pense pas, ne conçoit pas le désir de l'autre. » (Barthes, 1977, p. 195)

Les façons de voir le modèle déterminent leurs usages. Celle de Le Moigne, par exemple, montre un rapprochement des notions de modèle systémique et d'approche par projet où les intentions du concepteur s'imposent. Le parti pris « architectonique » de l'architecte dans son projet tend à en sémantiser tous les éléments, à la manière de la règle Albertienne à laquelle se réfère Choay, règle qui peut expliquer une idée générale ou un système complexe et des détails du projet. Le projet serait un tiers séparant par les biais des représentations le sujet-architecte de l'objet-construction, actant que la pensée précède la construction, que la conception et la construction restent choses distinctes. Si la commodité du concept de modèle est communément admise, il n'en existe pas une définition arrêtée. Le projet serait comparable au modèle si ce modèle était systémique plutôt qu'analytique (Le Moigne, 2001, p. 2), pluriel et non « moniste » (Bouleau, 2015), s'il est contextuel et ouvert à une forme de conversation avec une situation

(Schön, 1983) et non pas exclusif et abstrait (Choay, 1998) , si ce modèle est progénétique permettant la rétroconception - ce qui échappe à la CAO jugée anti-génétique - (Scheer, 2014).

3.3.8. Conclusion

Nous avons vu qu'il n'y a pas de définition unifiée de ce que serait le BIM, acronyme malheureux forgé par un VP d'Autodesk mais qui a été adopté. Nous aurions préféré le terme de modélisation intégrative de Louis Destombes décrivant la concentration des géométries et des données, et des contributions hétérogènes au sein d'un modèle unique (Destombes, 2018, p. 4). Concernant le BIM comme outil ou logiciel, nous reconnaissons les apports du BIM tout en critiquant aussi ses défauts manifestes. Nous observons que le BIM accélère la conception architecturale et qu'il en normalise le langage, qu'il favorise les logiques d'exploitations plutôt que celles d'exploration. Nous insistons sur le gain de productivité qu'il permet en soulageant les architectes du fardeau de la tenue à jour de nombreux documents (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 43.44) [477], ce qui explique son succès et la supplantation du principe de représentation par celui de modélisation. Toutefois, nous supposons que l'implémentation du BIM posera plusieurs problèmes liés aux processus d'idéation, notamment en début de projet, s'agissant surtout de l'exclusion latente du dessin et de la représentation dans les tâches de conception architecturale. Nous avons pu constater quelques confusions et difficultés d'accommodation entre les notions de modèle - qui évoque une *checklist* exhaustive - et de projet - qui évoquerait une règle du jeu -. Certains considèrent, comme Girard (2014), que le modèle BIM est intrinsèquement réel, l'interprétation n'est plus nécessaire, ce qui condamne le dessin (Garber, 2009a, p. 239). C'est pourquoi nous préférons le substantiver en parlant de modélisation BIM. D'autres critiquent le zèle des logiciels de CAO qui se comportent comme des « assistants de dessin suréquipés », comportant des présupposés qui surdétermine précocement la conception créative (Chupin, 2002, p. 67), et d'autres font valoir que ce qui est commode pour l'informaticien ne l'est pas forcément pour l'architecte. (P. Boudon, 2003, p. 15). Certains voient le BIM du point de vue des données, comme Daniel Hurtubise de RPBW ou Sampaio (Sampaio, 2018, p. 59). D'autres considèrent que la puissance de simulation de la modélisation BIM met fin aux pratiques fictionnelles du projet (Girard, 2014a, p. 256) : les vérifications d'hypothèses étant disponible sur le champ grâce à la simulation, réduisant les incertitudes, l'architecte semble mis à l'abri des risques par la puissance prédictive de la simulation offerte par la modélisation BIM qui réunit à nouveau conception et construction.

Concernant les questions liées au modèle, le saut dans l'inconnu que représentait le projet parait obsolète. D'autres considèrent que l'expertise n'est plus dans la virtuosité du dessin

[477] « La racine du problème réside dans la réduction d'un objet 3D complexe, le bâtiment, en de multiples représentations 2D, les dessins. Cela signifie que les mêmes éléments doivent être représentés dans plusieurs documents. A titre d'exemple simple, la position horizontale d'une fenêtre est présentée dans le plan, et sa position verticale dans au moins une élévation et une section et souvent dans plusieurs élévations et sections selon la géométrie du bâtiment (...) Il est facile de comprendre que cette documentation complexe et fragmentée constitue un problème. Tout changement peut affecter des dizaines de documents différents, et il y a des centaines ou des milliers de changements au cours d'un projet. Il est extrêmement important de se rappeler ou de reconnaître tous les documents qui doivent être mis à jour. » Trad.Gouezou

et son interprétation mais dans la capacité à encoder les informations pertinentes (Garber, 2009a, p. 13), ou qu'il tend vers le chantier, ce qui parait bien éloigné de nos préoccupations de la conception créative (Girard, 2014a, p. 256). Ce zèle balaie la relation triadique entre l'architecte (sujet), son projet, et le bâtiment d'étudié (objet) (Bachelard, 1934, p. 14). Le système sémantique et symbolique servant à la représentation (Pierce, 1978, p. 246) n'a plus cours. Nous pensons que le modèle numérique ne vaut pas la chose construite, que l'architecte est en charge de la conception et non de la construction, et que la notion de projet reste le cœur de la conception architecturale. La modélisation BIM comme le bâtiment réalisé peuvent être vus comme de simple représentation des intentions de projet de l'architecte-auteur : la conception précède toujours la construction (P. Boudon, 2003, pp. 12–13). La vision moniste du modèle proviendrait du Positivisme et des visions conquérantes suivant la révolution industrielle et serait peu amène et peu ouverte au débat contradictoire (Bouleau, 2005, p. 465). Cette alliance moniste entre la science et l'industrie connaitrait un relent dans les liens entre la vision néo-libérale associée au NTIC, à l'image, par exemple, du mouvement trans-humaniste, ou d'un pragmatisme conquérant, prompt à ringardiser l'« ancien monde » : le parallèle avec l'injonction du passage au BIM est tentante. Bouleau, en défendant une forme ouverte et contextualisée du modèle, doté d'un langage circonstanciel, et aussi empirique (Bouleau, 2001, p. 463), nous permet d'envisager une forme plus ouverte de la modélisation BIM, plus amène au points de vue contradictoire et tolérant une forme de dialectisme.

Concernant le BIM comme processus collaboratif de conception, nous avons vu que certains considèrent que l'outil est un levier de productivité idéal pour les petites agences (Robert, 2014), d'autres considèrent qu'il imposera la fin du travail solitaire[478] et, au-delà, marquera le passage d'une organisation séquentielle du travail - dont la loi MOP est le reflet « désuet » - vers l'interopérabilité inspiré de l'ingénierie concourante, où les acteurs travaillent en temps masqué et de façon « ouverte », ce qui devient une injonction. L'interopérabilité suppose une coordination précoce et constante qui peut rendre nerveux les architectes, leur rôle central s'en trouvant disputé face à des entreprises bien plus puissantes. Les cas d'étude lié à ANMA montrent que la responsabilité de l'esquisse incombe toujours à l'architecte et que, sans être réfractaire par principe aux documents informatisés, le choix du dessin libre sur papier ou calque semble incontestable.

Concernant l'étiolement des pratiques du dessin qu'occasionnerait l'implémentation du BIM, rappelons que certains voient le dessin comme le but ultime de la conception pour arriver à une « représentation satisfaisante de l'entité conçue » (Goldschmidt, 2004, p. 203), d'autres considèrent qu'il est nécessaire à la considération de points de vue variés (Baskinger, 2008, p. 29). Le dessin d'esquisse prend en charge l'état d'ambigüité, d'inachèvement et de flou (Deshayes, 2014, p. 77) qui permettent de ne pas surdéterminer prématurément la conception, et d'en énoncer « frugalement » les règles de principe. D'autres considèrent qu'une représentation optimale de la conception équilibre l'information qu'elle véhicule et les questions

[478] Thierry Parinaud in (Celnik and Lebègue, 2014, p. 343)

qu'elle pose à un moment du processus de conception (Rieuf et al., 2017, p. 46) [479]. Nous considérons que la conception créative experte implique une conduite de l'attention et des aspects mnémoniques particulièrement dynamiques qui nécessite des moyens d'expression adéquats que l'informatique en général semble peiner à fournir, comparativement au dessin à la main.



Figure 43 persistance de la pratique de dessin à la main en phase descriptive avancée. ANMA 2017. Crédit photo Vincent Gouezou

[479] Sur la base de (Buxton, 2007) et (Purcell & Gero, 1998)

4. PROBLEMES DU BIM POUR LA CONCEPTION CREATIVE

4.1. L'a-dialectisme de la modélisation BIM

4.1.1. Le « catégorisme » de la modélisation « BIM »

Concernant les tâches créatives, nous avons pu voir que l'adéquation du dessin d'esquisse est acquise[480]. L'immaturité des différents projets d'informatisation du dessin d'esquisse[481] est débattue et que l'inadéquation de la CAO (Chupin, 2002, p. 67)[482] (Huot, 2005, p. 35)[483] (Holzer, 2007, p. 3) (Deshayes, 2014, p. 76) semble pour le moment acquise également. La surdétermination que semble causer l'informatique sur les tâches créatives en architecture interroge. L'inadéquation de l'informatique à la conception créative est-elle surmontable ? Plus spécifiquement, la modélisation BIM ou intégrative (Destombes, 2018) qui s'impose comme standard est-elle condamnée à surdéterminer la création architecturale ? Un logiciel de CAO-BIM peut tolérer un certain niveau d'indétermination notamment grâce à des fonctionnalités de géométries conceptuelles, de dessins de détail évoquant autocad. Thibaud Robert, lors de sa conférence donnée à l'ENSAPL du 23 janvier 2017, évoquait l'emploi d'une famille de mur abstrait qu'il nommait Kadapak® [484] dont se servait son agence d'architecture pour esquisser sur Revit®. L'abstraction et l'indétermination de cette matière, loin des murs composites, permet probablement de « dédramatiser » les manipulations, d'avoir conscience d'être en train d'esquisser, mais pour autant la précision et l'aspect fini des murs ainsi modélisés et leur esthétique restent prégnants. Les modes « bimables » d'esquisse présentent une tendance à la détermination et à la précision, l'aspect de mise au propre peut paraitre prématuré comparativement à un croquis ou brouillon à la main, car il introduit un différentiel de niveau de définition, une disparité de définition et de style de rendu graphiques inadapté à l'esprit du brouillon de l'esquisse[485]. La lenteur des saisies sur clavier et souris contrevient aussi au besoin de libérer la perception et la créativité du concepteur lors de tâches d'idéation. Les logiciels de CAO s'avèrent rétifs à toute forme d'expression d'ambivalence, d'ambigüité ou de nuance ; ce qui est préjudiciable à la conception créative qui requiert de garder un grand nombre d'options ouvertes (Conan, 1990, p. 105) (Holzer, 2007, p. 4) (Crilly, 2015, p. 75)[486] qui est caractéristique de la phase d'esquisse. Nous soulignons le décalage existant entre l'injonction

[480] Cf. sections 1, 2.1 et 2.2
[481] Cf. section 2.3.1
[482] Chupin considère les logiciels de CAO se comportent comme des assistants suréquipés, ou comme des professeurs, qu'ils sont inappropriés pour la conception architecturale.
[483] Huot relavant une inadéquation cognitive de la CAO dont les interfaces sont trop contraignantes, insuffisamment intuitives. Il relève deux inadéquations : une inadéquation cognitive, due à une démarche de conception imposée trop éloignée de celle de l'utilisateur dans les premières phases du projet. L' autre inadéquation est contextuelle, due à un support figuratif et des paradigmes d'interaction très différents de ceux des concepteurs. »
[484] Référence faite au carton plume ou carton mousse dont se servent les architectes pour les maquettes physiques
[485] Cf. section 3.3.4 et les remarques de Michel Delplace, associé d'ANMA, à ce sujet.
[486] Cf. section suivante 4.2.1

mécanique de la logique BIM à réduire les incertitudes, à déterminer sans cesse les choses que nous opposons au besoin de flou, d'indétermination, propres aux pratiques subjectives de dessin d'esquisse qui correspondrait au besoin d'adversité et d'interprétation. A l'opposé, le BIM apparaît logiquement catégorique, réfractaire à l'ambivalence et, de fait, indifférent à la délibération, use du dessin d'esquisse pour considérer différents point de vue (Baskinger, 2008, p. 29). Au sein du modèle BIM, les questionnements conceptuels n'apparaissent pas, seules les décisions étant formalisées et apportées cumulativement au modèle : la modélisation BIM présente le résultat de l'état d'avancement du projet de façon a-génétique (Scheer, 2014), ininterprétable (Destombes, 2018) ou amnésique. Occultant le processus et ses questionnements, sourd à la controverse, la modélisation BIM édifierait, « monumentaliserait » le projet architectural sous la forme du cumul des seules géométries et informations utiles à la description de l'ouvrage, et fermant les options. Si le conflit donnait le sens (Barthes, 1977, p. 31) au projet via des représentations dissensuelles (Estevez, 2013a, p.7) et ambigües, l'approche par modélisation BIM s'avèrerait insuffisamment polémique pour pouvoir prétendre correspondre aux requis dialectiques de la conception architecturale. La claustration de la modélisation BIM occulte les règles régissant le projet architectural telles qu'elles peuvent apparaitre par corrélation sur les différents plans, elle n'en exposerait que le résultat. Cet aspect doublement fini, dans cet aspect de projet achevé comme accumulation de résultats, et dans l'aspect graphique des géométries, confère à la modélisation croise la rigidité de l'interface qui contraint à des choix catégoriques (Estevez, 2013b) surdéterminant la genèse du projet. En somme, le BIM se prête mal à l'examen critique et dialectique[487], il rappelle la distinction qui existe entre la démarche de résolution de problème portant sur les résultats et celle de problématisation structurant le processus de conception architecturale. Cet état exploratoire de problématisation se traduit par des recherches graphiques à la main dessinante, hésitante, tremblante comme celle de Le Corbusier décrite par son collaborateur André Wogenski (Pallasmaa, 2013, p. 22), la main cherchant, chemin faisant, ce qu'il faut faire advenir et comment l'inventer. Selon Conan, le dessin d'esquisse permettrait d' :

> « assurer une exploration très large de l'espace des solutions envisageables et retarder le moment où s'engager dans des choix irréversibles » (Conan, 1990, p. 105)

Epousant cette idée de Conan que le dessin permet de garder plusieurs options ouvertes, nous voyons dans cette ouverture un mouvement caractéristique de la démarche d'exploration. De façon comparable à la sémantisation par le conflit (Barthes, 1977, p. 31), un concept architectural est en grande partie défini par opposition aux concepts concurrents qui aident à le discerner, à le déterminer face aux autres options. Cette élaboration requière un medium dissensuel (Estevez, 2013b). A ce titre, les réflexions de Girard sont éclairantes concernant la remise en cause, par l'informatisation des approches métaphoriques, fictionnelles dont usent les architectes. Nous avons invoqué ici l'idée de catégorisme associée au BIM par opposition à l'idée d'ambiguïté associée au dessin d'esquisse. Girard considère que, par son exhaustivité et

[487] Cf. section suivante 4.1.2

sa puissance de simulation du réel, la computation empêchera les architectes de se réfugier derrière les notions fictionnelles et métaphoriques pour justifier de décisions qu'il juge arbitraires et qu'il qualifie de flou artistique (Girard, 2014a, p. 275). Cette approche percutante peut se voir objecter que, justement, la chose architecturale ne relève pas de la seule rationalité, et qu'elle nécessite d'être au moins autant pertinente que performante, raison pour laquelle il reste intéressant de laisser exister d'autres option de conception que celles figurant dans la modélisation BIM : il lui faudrait un dispositif contradictoire.

4.1.2. Consensualité et a-dialectisme de la modélisation BIM

Une conséquence du catégorisme de la modélisation BIM est un effet de consensualité abordé par Estevez (Estevez, 2013b) qui entraine à son tour la pluralité de points de vue ou dialectisme mis à jour par Goldschmidt (Goldschmidt, 1991b). Nous tentons de lier ces phénomènes aux questions de langage, par exemple de traduction ou d'interprétation. Dans sa thèse de doctorat consacrée au thème de la traduction constructive au temps du BIM, Louis Destombes rapporte et explique trois contributions majeures expliquant le rapport entre architecture et langage (Destombes, 2018, pp. 135–139) : celle de l'anglais Peter Collins, celle du français Jacques Guillerme et celle de l'anglais Adrian Forty. Le premier, Collins, a relevé l'importance des théories fonctionnalistes correspondant aux principes de l'architecture moderne et qui repose sur quatre catégories de métaphore dont la plus prégnante est langagière. Le deuxième, Guillerme, plus proche de nos préoccupations, relève l'analogie linguistique en architecture promue par les théories structuralistes et sémiologiques qui met en valeur la question du style, les questions sémiologiques et les manipulations métaphoriques. Le troisième déjoue les pièges de l'équivalence et de l'analogie entre architecture et langage propre à la sémiologie architecturale, assimilation que Forty impute à l'essor de la linguistique structuraliste depuis les années 50, le structuralisme prétendant pouvoir expliquer l'ensemble des productions culturelles. L'approche de Forty est plus englobante, plus distanciée, scientifique, en établissant six catégories[488] plus variées et peut être opérationnelles des analogies fonctionnelles entre langage et architecture, domaines qui évoluent sans cesse. L'intérêt de l'approche de Forty semble être que, sans confondre architecture et linguistique, il tente de catégoriser tous les aspects de ces rapports entre les mots et l'architecture en montrant les aspects utiles de la convocation du langage en architecture. Louis Destombes propose une étude extrêmement fouillée de ces rapports entre architecture et langage, synthétisant les travaux précédents et particulièrement celui, plus ouvert et complet, de Forty. Il identifie des catégories de critiques qui expliqueraient le déclin du « modèle linguistique de l'architecture », qui ont à voir avec le fait que les interprétations linguistiques occultent l'architecture pour ce qu'elle a de tangible, spatialement, sur le plan sensible et sur le plan symbolique (Destombes, 2018, p. 193). Ces contributions, dont celle de Destombes, nous paraissent adaptées pour aborder l'architecture *a posteriori* et semble donc plus adaptées pour l'analyser, la commenter, la justifier, ou la critiquer. Or, le point d'entrée qui nous importe au sujet des rapports entre langage et

[488] Voir (Destombes, 2018, p. 139)

architecture est celui de la conception créative où le langage est convoqué pendant les actes de conception, par exemple en tant que complément de l'image lorsque celle-ci est défaillante (Didi Huberman, 2014), en tant que vecteur de l'analyse plus distanciée de ses propres idées (Goldschmidt, 1991a) (Goldschmidt, 2003), en tant que soutient de la voix intérieure du concepteur (Reisberg and Logie, 1993) cognitif à la formulation et à la mémorisation des idées (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010) (Purcell and Gero, 1998). De ce point de vue, il ne s'agit pas de confondre les domaines ou d'introduire des rapprochements théoriques hasardeux mais d'utiliser le langage pour ce qu'il a d'utile du point de vue du concepteur en action, soutien à la mémoire et à la cognition, conceptualisation, analyse critique et considération d'alternatives, compensation et complément de la cognition visuelle, etc. Le couplage des dessins d'esquisse et du langage soutient la « conversation avec la situation » (Schön, 1983) de conception au moyen d'une dialectique dissensuelle. L'association des formes visuelles et langagières de la cognition permet à l'architecte de comprendre la spécificité de la situation de conception à laquelle il est confronté, confrontation qui sous-tend une séquence de processus qui produise l'état désiré à partir de l'état existant (Simon, 1991, p. 197). Un point *a priori* mineur dans l'étude de Goldschmidt a retenu notre attention, un architecte participant à son protocole expérimental parle de sa difficulté à jouer le jeu de l'expérience sans disposer d'un contexte et d'un « site » :

> « he thought it impossible to work without a specific site. He explained: "... *I feel powerless, because I think architecture is the organization of space in three dimensions, but related to a location, to a situation. ... I have to be in confrontation with a site, with a situation... If I don't know the orientation, it's very difficult*... ". » (Goldschmidt, 1991a, p. 133)[489]

Face à une situation trop abstraite ou neutre, sans cet antagonisme qui dynamise la démarche du concepteur, l'architecte participant à son protocole « cale », se trouvant démuni et à court d'arguments pour démarrer sa réflexion. Il réclamerait plutôt une situation spécifique à laquelle s'oppose, une adversité contre laquelle penser et avec quoi travailler. Nous voyons que Goldschmidt choisit de livrer ce détail pour exprimer l'idée que la dialectique du processus conception architecturale est de nature antagoniste. Outre la dimension narrative du projet d'architecture, une autre approche des langages architecturaux - le dialectisme - doit être développé dans cette section. Selon la définition[490] qu'en donne le CNRTL, la dialectique est

[489] « Il pensait qu'il était impossible de travailler sans un site spécifique. Il a expliqué : "... Je me sens impuissant, car je pense que l'architecture est l'organisation de l'espace en trois dimensions, mais liées à un emplacement, à une situation ... je dois être en conflit avec un site, avec une situation ... Si je ne connais pas l'orientation, c'est très difficile »Trad.Gouezou

[490] Selon le CNRTL : « [Chez les héritiers de la pensée de Hegel et en partic. chez les théoriciens marxistes] Matérialisme, logique, marxisme dialectique. Philosophie faisant du dynamisme, du mouvement par contradiction ou opposition, le principe d'évolution du monde et de la pensée humaine […] chez Marx le matérialisme historique s'associe au matérialisme dialectique pour former la base d'une conception philosophique de la réalité totale. Lacroix, *Marxisme*, *existentialisme*, personnalisme,1949 p. 42. […] P. ext. Rapport dialectique. Tout rapport reposant sur le principe de tension-opposition entre deux termes, deux situations, et dépassement de cette opposition. Antinomie, poussée, structure, unité dialectique. La tension dialectique qui oppose et unit à la fois l'individu et la communauté (J. Vuillemin, Essai signif. mort,1949, p. 11). Deux causalités qui entrent en rapport dialectique dans les entrecroisements de civilisations différentes (Traité sociol.,1968, p. 326). » in http://www.cnrtl.fr/definition/dialectique

moins liée à son étymologie grecque, « διάλεκτος », *diálektos*, qui se rapporte à la discussion, qu'à l'idée de confrontation entre deux notions. Rappelant l'assertion de Barthes liant sens et conflit (Barthes, 1977, p. 31), et celle d'Estevez critiquant la logique consensuelle de la BIM (Estevez, 2013b) du résultat devenue information indifférente au processus exploratoire qui y a mené, nous trouvons l'occasion ici de dissocier le sens du projet de la sémantique de la modélisation, le premier donnant une orientation générale quand le second détaille élément par élément. Christian Girard considère que, par son implacable littéralité, l'approche par modélisation ridiculiserait l'approche projectuelle basée sur le sens qu'il juge trop allusif, suggestif, ambigu ou métaphorique. Girard pense que la littéralité de l'approche par modélisation ridiculise l'approche par représentation dont il fustige les aspects métaphoriques, fictionnels et langagier qui prennent trop de place dans le débat architectural selon lui :

> « Notre position consiste à proposer une dévaluation importante de l'attitude « métaphorique » en architecture au bénéfice de l'inéluctable « littéralité » permis par la computation et l'ensemble des technosciences qu'elle porte et d'où elle procède à la fois. Se payer de mots en architecture, et parmi ces mots, jouer en dilettante avec celui de « métaphore » n'a plus grand sens à l'heure de la conception-fabrication intégralement calculée, quand les modélisations-simulations sont en passe de coïncider avec le réel, de le rejoindre.[…] Une conception déflationniste de la métaphore ne signifie pas la volonté d'en finir avec elle, car sans métaphore nul concept ; l'enjeu est de pouvoir remettre à sa juste place la métaphore, non de la congédier.[…] Pas de science sans métaphore, certes, mais l'abus de métaphore est le tombeau des ambitions critiques ; avec elle l'architecture se dilue aussi sûrement qu'avec son emploi banalisé du terme concept. » (Girard, 2014a, p. 251.252)

Cette assertion de Girard traduit un agacement face aux bavardages métaphoriques des architectes que la simulation devrait pouvoir réduire au silence. Girard dit aussi que l'exhaustivité de la modélisation, son aptitude à spécifier les composants et à simuler les comportements cadrent avec les phases de description des ouvrages et de prescriptions afférentes mais pas aux phases exploratoires d'idéation[491], trop floues. Holzer confirme cette inadéquation de la modélisation BIM aux phases génératives ou de conception créative :

> « Current BIM capabilities rather seem to lie in the area of design documentation and post-design rationalization than triggering new design solutions » (Holzer, 2007, p. 3) [492]

Ce point de vue semble faire consensus, si bien qu'en corrélant ce que disent Girard et Holzer, on peut supposer que les premières phases de conception doivent chercher ailleurs que dans la modélisation BIM les ressorts requis pour enclencher la dynamique de conception. C'est la question que ne pose pas Girard, quoi d'autre à part les procédés métaphoriques, dissensuels, pour idéer lors de la phase de conception créative ? Par défaut et jusqu'à preuve du contraire, nous supposons que l'approche dialectique, fictionnelle, spéculative qui repose sur le

[491] Référence faite à la catégorisation des dessins par Estevez, séparant dessins spéculatifs, descriptifs et prescriptifs.
[492] « Les capacités courantes du BIM semblent plutôt reposer à partir de la phase descriptive (APD ; NDLR) et la rationalisation post conception plus que pour déclencher de nouvelles solutions de conception. »

langage et le dessin d'esquisse reste la plus adaptée aux commencements du projet architectural. C'est ce que nous avons tenté de montrer dans la section 3.3.4 exposant la démarche et livrant les explications de Michel Delplace d'ANMA sur les raisons justifiant l'exclusion de la CAO en phases d'idéation. La combinaison du langage ou des dessins d'esquisse fournissent au concepteur des moyens dialectiques « hypo-déterminants » laissant libre cours aux interprétations, servant à la conversation avec le projet. Baskinger considère que la verbalisation et la représentation graphique sont complémentaires, notamment lorsqu'il s'agit de décider les orientations majeures du projet :

> « the best communication is often a combination of words and images. One of the main issues I've noticed from working with professional designers and design students is that knowing what to draw is really the most difficult part. » (Baskinger, 2008, p. 35) [493]

Cette combinaison constitue aussi une adversité, un conflit de circonstance entre l'état initial et l'état désiré qui est pourvoyeur de sens pour le projet qui s'en trouve spécifié. Inversement, l'effort d'anticipation de la conception auquel correspond le BIM (Cf. Courbe de Mc Leamy Figure 25) induirait une certaine précocité ou empressement pouvant gommer les dissensions nécessaires à cette dialectique du projet, cette précocité expliquerait la consensualité attribuée à la modélisation BIM (Estevez, 2013b). Il en résulte un aplanissement des conflits laissant une situation de conception optimisée, accélérée et quelque peu aseptisée ; on comprend ici le sens de l'expression de Destombes qu'il substitue au BIM : le terme de modélisation intégrative traduit clairement l'objectif de déconflictualisation des situations de conception et de leur mise en ordre. Or, il semble que cette formalisation et l'ordonnancement prématurés de la modélisation BIM, et la privation de débat et conflit qui en découle, nuiraient à la qualité de l'argumentaire architectural. Lawson compare l'assertion de Schön relative au dessin comme conversation avec une situation (Schön, 1992) liée à sa théorie de la « réflexion dans l'action » pour les comparer à d'autres pratiques créatives comme la musique ou l'écriture. La conversation avec un élément externe comme le dessin ou le texte y est aussi vu comme un monologue incluant la pratique du doute pour alimenter une délibération. Nous pourrions avancer que le brouillon est le format d'expression privilégié de cette délibération :

> « Technically this is possible with any kind of drawing. Indeed it is possible too with text. When I write this book I do not know in advance every detail of what I am going to say. I have a rough idea, some major themes and an overall structure. As the text begins to emerge on the word processor I may from time to time, and indeed I do, change my mind. In a sense then my own words speak back to me, as if I were talking to myself, and when I hear them I may feel the need to make adjustments. This is what Schön described as 'reflection in action'. I am sure a musical composer must go through a similar process of writing, listening and revising. Perhaps the process is more noticeable in a drawn medium which is not linear and sequential as the text and the score are » (Lawson, 2005a, p. 278) [494]

[493] « la meilleure communication est souvent une combinaison de mots et d'images. L'un des principaux problèmes que j'ai remarqués en travaillant avec des designers professionnels et des étudiants en design est que savoir quoi dessiner est vraiment le plus difficile. » Trad.Gouezou

[494] « Techniquement, c'est possible avec n'importe quel type de dessin. En effet, c'est aussi possible avec le texte. Quand j'écris ce livre, je ne connais pas à l'avance tous les détails de ce que je vais dire. J'ai une idée approximative,

Tout dessin ou tout texte peut supporter le processus de conception et conduire à des découvertes ; l'état existant et l'état désiré y sont confrontés et se complètent mutuellement au cours de transactions progressives, les intentions initiales sont ajustées, se transforment et se spécifient au fur et à mesure de ce processus de conception par une forme de réciprocité et de réflexivité offerte par ces documents de travail, suivant une réflexion dans l'action. Lawson affirme pouvoir discuter avec ses propres croquis ou textes qu'il fait évoluer au fil de sa pensée qui évoque à la fois une dialectique et un monologue. Nous supposons que la consensualité et la littéralité de la modélisation tendent à lisser l'argumentaire du concepteur qui, au contraire, trouvera par l'expression graphique dans les dessins d'esquisse et le langage la dialectique nécessaire. Langage et images fournissent la dissensualité et les hiatus nécessaires au concepteur qui, en traduisant les écarts entre les situations existantes et désirées, trouvera la place pour pouvoir déployer sa pensée de conception.

4.1.3. Impacts de la modélisation BIM sur la traduction du dessin

Le principe de représentation reposant sur la convention d'équivalence entre la chose dessinée et l'objet conçu - ou projet - suppose des allers-retours sémantiques que Robin Evans nomme traduction construction (Evans, 1986). Nous avons vu que ce principe de représentation était perturbé par la concurrence du principe de modélisation BIM que nous avons qualifié de littéral (Girard, 2014b) pour désigner l'immédiateté de transfert entre le projet et sa modélisation BIM, immédiateté qui perturbe le travail habituel de traduction de l'architecte qui est l'auteur et interprète des dessins représentant son projet. De ce point de vue, le rôle d'intercesseur ou de traducteur de l'architecte serait mécaniquement remis en cause par la modélisation BIM qui compose directement le projet en trois dimensions, de façon littérale par rapport à l'ouvrage réalisé. La thèse de doctorat de Louis Destombes porte sur l'étude de la conception de détails architecturaux à l'âge du BIM, qu'il rebaptise « modélisation intégrative », et des problèmes afférents. Cette terminologie - intégrative - n'est pas anodine, car elle exprime le refus d'adopter un acronyme discutable forgé maladroitement par Phil Bernstein, un ex-VP d'Autodesk, quelque peu confiscatoire et envers un principe de modélisation dont les architectes ont été tenus éloignés par un produit phare de DAO de cette même société :

> « Nous proposons l'expression 'modélisation intégrative' pour traduire le terme anglais Building Information Modeling. L'adjectif 'intégratif' réfère à la fois à la concentration du travail des différents acteurs du projet au sein d'une même plateforme collaborative et à l'accumulation de données hétérogènes au sein d'un modèle numérique unique. » (Destombes, 2018, p. 4)

quelques grands thèmes et une structure générale. Au fur et à mesure que le texte commence à apparaître sur le traitement de texte, je peux, de temps à autre, changer d'avis, et je le fais effectivement. Dans un sens, alors mes propres mots me parlent en retour, comme si je me parlais à moi-même, et quand je les entends, je peux ressentir le besoin de faire des ajustements. C'est ce que Schön a qualifié de " réflexion en action ". Je suis sûr qu'un compositeur de musique doit passer par un processus similaire d'écriture, d'écoute et de révision. Le processus est peut-être plus perceptible dans un *medium* dessiné qui n'est pas linéaire et séquentiel comme le sont le texte et la partition. » Trad.Gouezou

L'expression de Louis Destombes exprime explicitement la dimension intégrative de la modélisation CAO-BIM. Le choix de Destombes d'étudier le détail constructif semble correspondre au souhait de se placer entre les phases de conception et de construction, c'est-à-dire en bout de processus de représentation. Ce moment décisif situé entre fin de la phase descriptive et début de la phase prescriptive est loin de notre focalisation qui porte sur les premières phases de conception créative. Néanmoins la recherche de Destombes nous permet d'aborder les aspects théoriques et pratiques de la modélisation informatique et particulièrement de la modélisation BIM ou « intégrative ». Destombes s'étend sur le concept de « traduction constructive » de Robin Evans (1986) qui théorise le transfert entre fiction et construction, postulant que la distance séparant l'intention - exprimée par les dessins - et la réalité de la construction est féconde. Destombes restitue ainsi le postulat du concept de traduction constructive selon Evans :

> « l'espace à travers lequel un projet d'architecture transite du dessin à la construction est aussi discontinu et sujet à distorsions que l'espace à travers lequel un énoncé transite entre deux langues » (Destombes, 2018, p. 199)

Notons la discontinuité consubstantielle au processus de traduction qui rappelle l'assertion de Wittgenstein supposant que voir est un état inaccessible et induit nécessairement une manière de voir, une interprétation qui abrite une pensée, une intention ou une visée (Wittgenstein, 1958, p. 212)[495]. Destombes explique le statut particulier du détail constructif en architecture situé entre invention et culture du domaine, entre conception et construction ; il cite à cet effet Cyrille Simmonet à propos de cette « double métamorphose » :

> « celle qui permet à l'acte de construire (techniquement et économiquement) d'exalter sur le plan esthétique les lignes sensibles de l'architecture, et qui en un sens sublime l'empreinte technique en symbole architectural ; et puis celle qui, par le fait de sa nature anticipatrice, transmue cette symbolique expressive en efficacité prescriptive, inférant apparemment au signe une rationalité directe sur le chantier. » (Simonnet, 2001, p. 71)

La métamorphose tectonique et architectonique entraine la technique et, réciproquement, la technique change la conception. Entre *Tecton* et *Technos*, l'entre-deux de la traduction apparait comme un *no man's land* transactionnel fait d'allers-retours entre les intentions architecturales et l'art constructif, comme un entre-deux neutre où les interprétations permettent les échanges entre les phases de conception et de construction. La dimension heuristique du hiatus entre un objet architectural et sa représentation évoque une quête dialectique polarisée entre une aspiration constructive du concepteur et la réalité du domaine riche en connaissances et en contraintes. Les intentions et les connaissances expertes de l'architecte se potentialisent mutuellement dans l'espace de la représentation grâce aux traductions entre *Tecton* et *Technos*. Evans exprime ainsi sa vision du rôle de la représentation en architecture :

> « It would be possible, I think, to write a history of Western architecture that would have little to do with either style or signification, concentrating instead on the manner of working. A large part

[495] Cf. section 2.2.2

> of this history would be concerned with the gap between drawing and building. In it the drawing would be considered not so much a work of art or a truck for pushing ideas from place to place, but as the locale of subterfuges and evasions that one way or another get round the enormous weight of convention that has always been architecture's greatest security and at the same time its greatest liability. » (Evans, 1986, p. 16)[496]

Evans considère l'intérêt d'étudier cet écart entre le dessin et la construction, et voit notamment les dessins comme le lieu de transaction entre les intentions et les conventions de conception et de construction, où le dessin apparait comme un lieu d'expression très libre. D'après l'ouvrage *Translations from Drawing to Building and Other Essays* de Robin Evans, Sabrina Chénafi critique la logique d'optimisation de la modélisation BIM lorsqu'elle se fait au détriment des *ressaisies* qui, selon Evans, soutiendrait la créativité :

> «L'absence de ressaisies, enjeu majeur de la mise en place du BIM, promet certes l'optimisation non négligeable du temps de conception et des fonds de projet mais tend à rendre les outils conventionnels de représentation obsolètes, outils qui assuraient pourtant l'enrichissement d'un imaginaire constructif, garantissant alors une part de subjectivité au projet architectural » (Chenafi, 2015, p. 103)

La perte de productivité occasionnée par l'approche par représentation par les ressaisies qu'elle occasionne ne justifie pas que l'on s'en passe si l'on considère les apports de ces ressaisies pour l'exploration, l'idéation. L'implacable réalisme de la modélisation BIM oblitère les marges interprétatives qu'offrent les ressaisies, elle apparait monosémique. Le concept de « fiction capacitante » (*enabling fiction*) que forge Robin Evans (Evans, 1986, p. 3) pour décrire le dessin d'architecte nous renseigne sur la nature heuristique - trompeuse mais féconde - de la représentation comme la moins mauvaise image possible de ce que sera l'objet architectural (projet). La suspension de l'incrédulité fondant la convention de représentation - ceci vaut cela - est une commodité hypothétique qui enrichit le projet. L'approche par représentation y trouve les hiatus qui sont autant d'écarts interprétatifs dans lesquelles les idées alternatives deviennent envisageables, la représentation apparait polysémique. Les traductions liées aux décalages entre dessin et chose construite permettent de penser et d'enrichir le projet dialectiquement, par l'opposition de différents points de vue : la traduction induirait une forme d'appropriation autre que celle habituelle de l'auteur, le libre arbitre s'y exerce pour servir un propos qui ne vient pas de soi mais d'une situation de conception. Evans compare la traduction constructive à la traduction littéraire qui induit une pensée : pour assurer le plus fidèlement possible le transfert du sens, elle doit être plus interprétative que littérale, elle compose avec les manquements et les impossibilités. Ainsi, l'objet traduit ne peut l'être qu'en admettant une altération, une distorsion ou un hiatus pourvoyeur de sens :

[496] « Il serait possible, je pense, d'écrire une histoire de l'architecture occidentale qui n'aurait pas grand-chose à voir avec le style ou la signification, mais plutôt avec la manière de travailler. Une grande partie de cette histoire serait consacrée à l'écart entre le dessin et la construction. Le dessin y serait considéré non pas comme une œuvre d'art ou un transporteur pour pousser des idées d'un endroit à l'autre, mais comme un lieu de subterfuges et d'évasions qui, d'une manière ou d'une autre, contournent l'énorme poids des conventions qui a toujours été la plus grande sécurité de l'architecture et en même temps sa plus grande responsabilité. » Trad.Gouezou

> « I would like to suggest that something similar occurs in architecture between the drawing and the building, and that a similar suspension of critical disbelief is necessary in order to enable architects to perform their task at all. I would like to suggest also that, while such an enabling fiction may be made explicit » (Evans, 1986, p. 3)[497]

Notons l'idée d'Evans de nécessaire suspension de jugement critique comme préalable à la tentative de traduction, à la fiction capacitante (*enabling fiction*). Destombes fait un parallèle avec le domaine de la traduction littéraire pour montrer que le transfert entre représentation et construction ne s'effectue pas de manière littérale mais interprétative. Supposant que la distance séparant le dessin de son exécution constitue une traduction fructueuse, il postule :

> « l'existence de traductions constructives du projet d'architecture, désignant les attitudes par lesquelles un concepteur peut mettre à profit les écarts entre dessin et construction tels qu'ils se manifestent par le fait même du transfert du projet » (Destombes, 2018, p. 10)

Ce point nous parait renvoyer à ce que nous disions précédemment sur la conduite attentionnelle de l'architecte cherchant, dans les potentialités du dessin d'esquisse, l'équilibre entre la concentration requise par l'étude d'une idée - que nous nommerons exploitation où les options diminuent et le potentiel s'épuise - et la nécessaire aménité envers toute idée alternative (Crilly, 2015, p. 75) [498] - que nous nommerons exploration où les options et le potentiel augmentent - , correspondant au principe du dilemme du chercheur d'or (Lachaux, 2015). Destombes se réfère ensuite aux travaux de Kenneth Frampton (Frampton, 1995) qu'il caractérise par un principe d'équivalence entre une représentation et la « vérité constructive » qu'il véhicule :

> « L'attitude tectonique, correspondant à une anticipation de la construction comme poétique, est caractérisée par le fait que Frampton attribue implicitement aux figurations du projet la capacité d'en incarner l'essence constructive. L'idée que les qualités tectoniques d'un projet puissent être inhérentes à ses représentations implique que ces qualités soient transférables, d'une manière ou d'une autre, depuis les représentations initiales du projet jusqu'à son occurrence construite. » (Destombes, 2018, p. 119)

Il se réfère à la théorie de la Tectonique de Frampton exprimant un niveau significatif de correspondance entre l'expression architecturale et l'expression structurelle d'un projet ou d'un bâtiment, par opposition à une architecture a-tectonique qui désignerait une décorrélation entre l'expression première du bâtiment, par exemple, affiché en façade, et la « vérité » de son système constructif. L'ouvrage de Frampton vise à rééquilibrer les théorisations du mouvement moderne qu'il juge trop focalisées sur la notion d'espace au détriment des questions structurelles, tectoniques. Destombes oppose l'approche de Frampton à celle de David Levine qui réfléchit du point de vue de la représentation comme principe premier, supposant que la vérité archi-tectonique réside dans ce qui est donné à voir, aux apparences. Le bâtiment lui-

[497] « Je voudrais suggérer que quelque chose de similaire se produit dans l'architecture entre le dessin et le bâtiment, et qu'une suspension similaire de l'incrédulité critique est nécessaire afin de permettre aux architectes d'accomplir leur tâche du tout. Je voudrais aussi suggérer que, si une telle fiction habilitante peut être rendue explicite, cela n'a pas été fait en architecture » Trad.Gouezou

[498] Cf. note 523

même devient un système représentationnel. Ici, la notion de représentation recouvre plus que l'acception usuelle des seuls dessins à laquelle nous nous tenons. Destombes précise que, selon Levine, et au-delà des seuls documents graphiques, la notion de représentation ne… :

> « désigne pas, comme dans la majorité des écrits contemporains sur l'architecture, les supports graphiques ou physiques impliqués dans le processus de conception architecturale. Levine étudie la manière dont les édifices construits eux-mêmes constituent une forme de représentation : « *how buildings themselves come to be representational?»*[499]. L'ouvrage *Modern Architecture Representation and Reality* est ainsi consacré à une analyse de l'évolution du phénomène de la représentation et de ses implications pour la théorie de l'architecture depuis l'émergence de la modernité XVIIIe siècle jusqu'à son apogée au milieu du XXe siècle. Cette relation entre construction comme représentation et théorie architecturale peut préliminairement être déclinée à travers une série de sous-questions : qu'est-ce qu'un édifice peut être amené à représenter ? Quels principes théoriques, éthiques ou esthétiques déterminent cette représentation ? Quels sont les moyens architecturaux d'expression par lesquels un édifice peut constituer une forme de représentation ? » (Destombes, 2018, p. 65)

La notion de représentation recouvre ici un système de valeurs et d'intentions architecturales que peuvent porter aussi bien le dessin d'un bâtiment que le bâtiment lui-même, ce qui n'est pas éloigné de l'assertion de Boudon inversant les rapports entre bâtiment réalisé et sa représentation préalable (P. Boudon, 2003, pp. 12–13) : Boudon propose ainsi de voir la construction comme une simple représentation du projet de l'architecte. Destombes aborde ensuite les travaux de William Mitchell qui a introduit le concept d'anti-tectonique (Mitchell, 1998) dont il se sert pour désigner la production de la scène architecturale « non standard » des années 90 qui avait intégré les logiciels de 3D provenant du cinéma pour la conception. Destombes nuance cette charge envers la CAO en signalant des travaux ultérieurs attestant de l'adaptation des outils informatiques à des objectifs moins abstraits, allant jusqu'à parler de « tectonique numérique » (Beesley et al., 2000)[500]:

> « Les auteurs définissent la « tectonique numérique » comme une méthodologie de conception qui mélange, de manière littérale, « les méthodes de construction traditionnelles » et les fonctionnalités de la modélisation paramétrique [[501]NDLR]. » (Destombes, 2018, p. 341)[502]

Il s'appuie sur divers travaux de Scheer qui moque l'orthodoxie de Frampton lorsqu'il critiquait la CAO qu'il accusait de produire une architecture désincarnée, a-tectonique. Scheer considère

[499] (Levine, 2009, p. 4)
[500] Cf. le livre éponyme (Leach et al., 2004)
[501] Dans l'acception du terme « paramétrique » en école et agence d'architecture, la modélisation avancée paramétrique renvoie, la plupart du temps, aux processus informatique couplant le modeleur 3D Rhinoceros édité par Mc Neel et son plugin paramétrique Grasshopper. Cette plateforme de *Visual Programming Language* (VPL) provient des recherches d'Ivan Sutherland - aussi auteur du premier Sketchpad - en 1966 pour calculer une racine carrée. Grasshopper permet d'élaborer visuellement un algorithme exécutant une procédure complexe « mathématisable ». L'équivalent du couple Rhino-Grasshopper est proposé par Autodesk entre Revit et Dynamo, laissant entrevoir une intégration entre les approches BIM et « paramétrique ».
[502] « Digital tectonic design is a fresh approach to architectural design methodology.Tectonics means a focus on assemblies of construction elements. Digital tectonics is an evolving methodology that integrates use of design software with traditional construction methods.We see digital tectonic design as a systematic use of geometric and spatial ordinances, used in combination with details and components directly related to contemporary construction. » (Beesley et al., 2000, p. 1)

l'approche par représentation comme obsolète comparativement à la puissance de simulation de la modélisation informatique, prédisant la mort du dessin. Selon Scheer, la faiblesse de l'approche par représentation proviendrait de son statut d'interprétation lié aux écarts entre « le signe et la réalité » du réel qui laisse le champ libre aux lacunes et aux ambiguïtés :

> « Representation relies on signs that refer to objects in the real world, while always leaving gaps and ambiguities in the relationship between sign and reality. […] Simulation is based on an entirely different principle: rather than acknowledging and exploiting the difference between the sign and reality, it replaces the real with our perception of it » (Scheer, 2011, p. 34)[503]

Cette vision est comparable à celle de Girard qui trouve que les simulations tirées des modèles informatiques ridiculisent les approches métaphoriques et fictionnelles de la représentation (Girard, 2014a). Selon Scheer, la puissance de la simulation permet de se dispenser de la convention de la représentation et d'éviter l'interprétation. Estevez appelle « transposition » ce mimétisme entre la modélisation BIM et le réel pour le transcrire tel quel dans la modélisation BIM (Estevez, 2013a, p. 7)[504], transposition que nous pouvons opposer ici à l'interprétation de l'approche par représentation. La sémantique du projet parait concurrencée par les données de la modélisation BIM, ce qui peut expliquer que l'on ne parle plus de traduction mais de transposition. Le principe de traduction entre l'objet en cours de conception et son dessin rappelle la relation triadique entre le sujet, l'objet et le représentant de cet objet – son representamen - selon Pierce (Pierce, 1978). Cette intercession triadique permise par la représentation laisse une marge interprétative permettant l'exercice de l'intelligence du concepteur. Par opposition à ce modèle triadique[505] , nous proposons de voir la modélisation BIM comme un modèle dual agissant directement entre le sujet et l'objet, littérale car défaite de l'intercession du *representamen*, sans aucune traduction ni marges interprétatives. Destombes cite Scheer expliquant que la simulation rend obsolète la nécessité d'interpréter pour restituer le sens des intentions portées par la représentation. La modélisation trouve sa force dans la réplication informatique des propriétés d'un élément architectural permettant d'anticiper ses comportements selon des paramètres évaluables, comme si l'on pouvait expérimenter *a priori* :

> « To create meaning, there must be a competent audience, that is, people capable of discerning meaning in the expression of others. The permeation of our society by simulation raises the very real possibility that the bulk of the public already experiences its environment in the mode of simulation, […] architects, who continue to think in representational terms are, to some extent, speaking into the void » (Scheer, 2014, p. 44)[506]

---

[503] « La représentation s'appuie sur des signes qui se réfèrent à des objets du monde réel, tout en laissant toujours des lacunes et des ambiguïtés dans la relation entre le signe et la réalité. La simulation repose sur un tout autre principe : plutôt que de reconnaître et d'exploiter la différence entre le signe et la réalité, elle remplace le réel par notre perception de celui-ci.» Trad.Gouezou

[504] Cf. section 2.2.5

[505] Cf. section 3.3.6

[506] « Pour créer du sens, il faut qu'il y ait un public compétent, c'est-à-dire des personnes capables de discerner le sens dans l'expression des autres. L'imprégnation de notre société par la simulation soulève la très réelle possibilité que la majeure partie du public expérimente déjà son environnement dans le mode de la simulation, […] les

Si la simulation permet d'expérimenter des hypothèses en avance de la phase de construction, elle dispenserait aussi de la question du sens, selon Scheer. La simulation du projet permise par sa modélisation en révèlerait par avance les comportements futurs, évoquant un chantier avant le chantier. La modélisation BIM est-elle plus un projet architectural ou un objet technique anticipé ? Elle peut sembler relever plus de la conception-constructive que de la construction-créative. Destombes s'appuie ensuite sur l'idée de la construction comme représentation développée par Neil Levine qui veut rendre moins abstraite la notion de représentation. Levine considère les écarts et hiatus entre les intentions architectoniques et la réalité tectonique, les intentions représentées et le détail effectif, comme féconds du point de vue de la conception (Levine, 2009). La représentation serait une médiation imparfaite offrant des marges interprétatives à l'approche fictionnelle, « théâtrale ». Les avancées architectoniques du projet y sont encore possibles avant qu'elles ne soient infirmées par la vérité constructive s'imposant, par exemple, par la simulation informatique :

> « Representation […] describes an essentially theatrical situation in which a virtual or ideal set of recognizable figures or elements is perceived as standing for, that is to say, representing, an absent set of real ones to which they are meant to correspond » (Levine, 2009, p. 5)[507]

La parenthèse théâtrale de la représentation rend possible les spéculations nécessaires au projet avant que ne soit convoquée la dure réalité. Scheer considère que la modélisation BIM oblitère l'esprit d'expérimentation en fournissant une expérience par anticipation grâce à la simulation :

> « Another way to view the essence of simulation is that it inverts the relationship between experience and model. Whereas representational models are generalizations of prior experience, a simulation is a model that precedes and determines experience. In the former case, new experience that contradicts a model forces changes in the model. In the latter the model determines in advance what experience can be had » (Scheer, 2014, p. 43)[508]

Scheer argumente que l'effet anticipant de la modélisation en CAO, notamment la simulation, constitue une pré-expérience qui concurrence les connaissances et l'expérience du concepteur expert : comment réagirait le concepteur expert si son expérience est contredite par le fruit d'une simulation BIM ? Si la modélisation fournit une simulation performante de la réalité, il n'y a plus de représentation donc nul besoin ni d'interprétation ni de traduire. Certes, ces simulations bénéficient à la qualité de la conception du point de vue performanciel, elles renforcent les hypothèses du concepteur vérifiables sur le champ, mais la place de l'architecte

architectes, qui continuent à penser en termes de représentation, parlent, dans une certaine mesure, dans le vide » Trad.Gouezou

[507] « La représentation (...) décrit une situation essentiellement théâtrale dans laquelle un ensemble virtuel ou idéal de figures ou d'éléments reconnaissables est perçu comme signifiant, c'est-à-dire représentant, un ensemble absent de figures ou d'éléments réels auxquels ils sont censés correspondre » Trad.Gouezou

[508] «Une autre façon de voir l'essence de la simulation est d'inverser la relation entre l'expérience et le modèle. Alors que les modèles de représentation sont des généralisations de l'expérience antérieure, une simulation est un modèle qui précède et détermine l'expérience. Dans le premier cas, une nouvelle expérience qui contredit un modèle force des changements dans le modèle. Dans ce dernier cas, le modèle détermine à l'avance l'expérience que l'on peut avoir» Trad.Gouezou

s'en trouve impactée, le rendant dépendant et en orientant son attention sur des considérations informatiques et techniques. La suspension du jugement critique dont userait le concepteur pour s'accorder le droit de spéculer, de conjecturer son projet sans l'étreinte de la dure réalité constructive, est remise en question par l'empressement de la démarche BIM. Pour relativiser ces problèmes de traduction constructive étudiés par Destombes, nous rappelons qu'ils concernent les phases avancées situées entre la fin de la description et le début de la prescription, à la frange entre conception et construction. Nous nous focalisons plutôt sur les phases antérieures de conception créative où ce problème de traduction dans la représentation se pose différemment. Le ressort fictionnel y est moins contesté, moins suspecté de cacher une falsification ou une distorsion de la réalité, le temps du projet y semble relativement sanctuarisé bien que le BIM constitue une anticipation de l'effort de conception et qu'il comprime les premiers temps « créatifs ». L'approche par représentation y est plus communément admise.
Nous rappelons l'impossible objectivité de la vision décrite par le philosophe et linguiste Wittgenstein - voir est un état tandis que penser ou interpréter c'est faire quelque chose - il y a donc toujours dans la manière de voir et l'acte d'interprétation qui y correspond est le vecteur d'une pensée (Wittgenstein, 1958, p. 212)[509] : voir, c'est interpréter. Cette mise en garde requestionne la littéralité de la modélisation BIM que Girard ou Scheer suppose implacablement objective comparativement à l'approche par représentation (Girard, 2014a) (Scheer, 2011, p. 34), ils ne semblent pas douter que ce que la modélisation BIM puisse montrer autre chose que ce qu'elle est véritablement, ou qu'elle comporte des erreurs. Dis autrement, leur confiance envers la modélisation BIM peut paraitre excessive tout comme leur condamnation de la traduction qui, au lieu d'être vue comme une source d'erreurs, peut aussi être vue comme une pratique constante du doute et de l'examen critique. La dynamique instable de l'interprétation est un acte de pensée qui discerne une chose par opposition à d'autres ne nous parait pas dissociable de la notion de dialectique qu'invoque Goldschmidt. La modélisation BIM domine les phases de descriptives et prescriptives, mais pas la phase générative de la conception créative. L'approche par représentation perdure sur les premières étapes de la conception créative, si l'informatisation du dessin d'esquisse n'est pas jugée pertinente : nous rappelons les arguments de Kiviniemi et Fischer[510] doutant de l'intérêt d'informatiser le dessin d'esquisse étant donné que la main lui convient mieux et qu'elle n'est utile que sur le temps court de conception créative (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 42). Le jour où cette phase initiale du projet pourra elle aussi bénéficier d'une informatisation du dessin d'esquisse, pourrons-nous considérer que l'approche par modélisation à totalement supplanté l'approche par représentation ?

[509] Cf. section 2.2.2
[510] Cf. section 2.4.4

4.2. La conception à marche forcée

4.2.1. La marche forcée du temps masqué BIM

L'approche BIM suscite des questionnements de la part des architectes, notamment français pour qui l'association de l'Architecture à la « Culture » semble importante et dont l'effectif des agences est souvent réduit. Au contraire, certains voient dans l'approche BIM la planche de salut procurant un gain de productivité significatif (Robert, 2014) susceptible d'achever un processus séquentiel à bout de souffle, conformément à la déclaration d'Alain Maugnard, président de Qualibat (Celnik and Lebègue, 2014, p. 25). L'organisation séquentielle[511] parait obsolète : il semble difficile de faire admettre que chacun doive attendre son tour pour travailler. Un bénéfice majeur de la modélisation BIM qui la supplante serait justement de permettre le travail en temps masqué, soutenant le travail collégial et d'intégrer plus tôt, en temps masqué, les contributions des autres experts de l'équipe de Maîtrise d'Œuvre. Nous avons dit que cette approche interopérable du BIM, provenant de l'ingénierie concourante, est orientée vers la construction qui peut dénoter une compréhension lacunaire de la notion triadique de projet architectural pour confronter directement l'architecte à la simulation de la réalisation de son projet[512]. Le concept d'interopérabilité désigne cet aspect de partage des efforts mieux anticipés et optimisés, ainsi que par l'absence de rupture dans les échanges de fichiers informatiques qui fluidifierait ce travail collégial. Le processus d'enrichissement des informations contenues dans la modélisation en CAO-BIM apparaît, de ce point de vue assez linéaire, peu encline au repentir. Le groupe organisé dès le début autour de l'architecte enrichit progressivement le modèle à mesure que des décisions peuvent être prises, aboutissant à des spécifications de plus en plus précises, un peu comme s'il s'agissait surtout de réduire le niveau d'incertitude, de résoudre des problèmes et de déterminer un projet vidé de questionnement. Fragmenté, le BTP adopte le BIM pour réussir son intégration, devenir efficient et éviter les redondances et ressaisies, améliorer la collaboration. La visée du BIM est clairement l'optimisation et le gain de productivité (Sampaio, 2018, p. 59)[513]. Mais la qualité du projet n'est pas automatiquement garantie par l'approche BIM, bien qu'il optimise et accélère le processus. L'idée qu'une décision de conception soit bonne du premier coup peut paraitre aberrante du point de vue architectural, notamment parce qu'elle contrevient à l'idée de processus :

> « L'ingénierie concourante, IC, est une nouvelle logique de conduite de projet qui anticipe certaines tâches et décisions pour retarder au maximum celles qui engagent des ressources lourdes et stratégiques. En partant plus en amont pour finir très vite selon une logique de « bon du premier coup », elle cherche à réduire les délais des projets.» (ADVANCITY, 2007, p. 93)

[511] Cf. section 3.2.2
[512] Cf. section 3.3.6 et 4.1.3
[513] « Il se produit actuellement un changement dans le BTP [*AEC. Architecture, Engineering, and Construction*] qui adopte la BIM comme un outil qui peut aider à intégrer l'industrie fragmentée en éliminant les inefficacités et les redondances, en améliorant la collaboration et la communication et en augmentant la productivité globale. » Trad.Gouezou

Le temps apparait comme une donnée majeure lorsqu'on considère le BIM, une anticipation de l'effort de conception. Forcer le processus de conception, notamment à ses commencements, brusquer le concepteur est-il une option judicieuse ? La question se pose étant donné que la conception architecturale se dissocie des autres domaines de conception parce qu'elle n'a pas pour seul objet de résoudre des problèmes mais comporte aussi des aspects problématiques. La conception créative relève d'un mouvement itératif entre les espaces de problèmes et les espaces de solution (Dorst and Cross, 2001, p. 434) qui ne correspond pas à l'objectif de trouver cette solution « du premier coup ». Or, focalisé sur les décisions de conceptions, le BIM tendrait à nier la dimension exploratoire et problématisante de la conception avec sa temporalité expérimentale spécifique. Logiquement « consensuel », l'approche BIM contreviendrait à certains aspects ambigus et contradictoires - dialectiques - de la discipline architecturale, plutôt dissensuelle (Estevez, 2013b). Traditionnellement, les tâches de conception étaient plus séquentialisées, cloisonnées, le temps linéaire laissant à l'architecte au moins le premier mot, et souvent le dernier. Rattachant cette séquentialité du processus à l'accessibilité des datations des représentations, Deshayes rajoute que les représentations tangibles comme l'esquisse offrent l'avantage d'une traçabilité chronologique contrairement à la CAO :

> « L'espace physique de la représentation du dessin finalisé date l'événement dans le temps et engendre la mutation perceptive du caractère différé de l'acte […], l'utilisation de l'informatique pose le problème de la traçabilité de l'acte de conception et par conséquent de sa chronologie, donc du sens dans son évolution conceptuelle, son déroulement, son écoulement. Le dessin ainsi proposé se présente comme une image ou sémiose dont le sens est à retrouver et dont la dynamique de la conception est alors à reconstruire. » (Deshayes, 2013, p. 922)

Comme Deshayes, Scheer convient que la simulation par la modélisation BIM induit une édification prématurée et sans retour en arrière possible, une sorte de marche en avant ou de non-rétroactivité qu'il qualifie d'anti-génétique mais qui peut évoquer une forme d'amnésie:

> « Simulation is anti-genetic: it deprives objects of origin or development. If indeed the modern meaning of explanation is to give an account of origin, simulation denies such an account by limiting reality to appearance without regards for the mechanism of its generation » (Scheer, 2014, p. 35)[514]

Dire que la simulation est anti-génétique signifie que son objet n'est pas de restituer la mémoire du projet et de soutenir son développement mais de rendre compte du dernier état d'avancements cumulés, il n'y aurait pas de retour en arrière possible car rien ne correspond à la traçabilité que peut offrir la représentation traditionnelle, (e.g. les documents de versions précédentes, les ratures ou repentirs, les calques d'étude indexés et versionnés etc.). Peu d'interfaces proposent une telle traçabilité des choix de conception, la plupart d'entre elles impose la modélisation telle quelle, en tant qu'aboutissement et en éludant les étapes antérieures. Le temps des erreurs et des ressaisies est considéré comme perdu. Cette non-

[514] « La simulation est antigénétique : elle prive les objets de leur origine ou développement. Si le sens moderne de l'explication est effectivement de rendre compte de l'origine, la simulation s'y oppose en limitant la réalité à l'apparence sans égards pour le mécanisme de sa génération » Trad.Gouezou

rétroactivité rejoint celle pointée par Terry et Mynatt pour qui les interfaces informatiques entravent l'exploration d'idées alternatives par leur linéarité :

> «Many user interfaces, however, force the user to progress linearly through a task where each step replaces the current state with a new state» (Terry and Mynatt, 2002, p. 41) [515]

La focalisation sur l'état actuel de la modélisation effacerait l'état précédent selon Terry et Mynatt. Le comble de la modélisation BIM qui participe à l'obsolescence de l'organisation séquentielle serait de présenter elle-même une linéarité processuelle. Si le BIM est pressant envers les premières phases de conception, on peut supposer que le stress résultant s'exerce aux dépens d'autres étapes, de certaines temporalités, autrefois sanctuarisées, et que la réduction du temps consacré à la maturation des idées n'est pas anodine. Elle traduit peut-être une incompréhension de ce qu'est le temps créatif du projet. Si l'on admet que la conception précède la construction sans mimétisme, il n'y aura pas de difficulté à lui accorder du prix et donc du temps. Il est facile de comprendre que la construction d'un bâtiment demande d'être « juste » du premier coup, c'est là que la conception se justifie car c'est là que toutes les erreurs peuvent être commises, que les doutes et ambiguïtés doivent s'exprimer. En conséquence de cela, les injonctions à l'efficacité et à la justesse associées à la modélisation BIM posent question. Peut-on, dans ces conditions d'optimisation, parler encore de la notion de projet ? Ne s'agit-il pas plutôt d'un modèle de construction. Cette vision est réfutable. La forme dialectique de la conception architecturale suppose un temps exploratoire permettant de confronter divers points de vue ; ce que semble ne pas encourager la logique d'optimisation de la modélisation BIM. Cette impatience traduit l'absence de considération pour la parole de l'architecte et, par extension, pour la chose architecturale. Ceci nous amène à penser qu'une forme de défiance envers la culture performancielle[516] pourrait s'avérer utile, tant le processus et le logiciel BIM paraissent péremptoires[517], rétifs à la dispute et aux cheminements exploratoires, prompt à précipiter les décisions. Holzer signalait dès 2007 les réticences des architectes à la modélisation BIM si elle ne répond qu'à des logiques financières :

> « A certain reluctance to do the BIM work is apparent amongst architects […] One reason for this is that architects are by far not the only party who might profit from the creation of a BIM model […] The work is done by the upstream parties but mainly favors the downstream parties – notably the client, the sub-contractors and the operators. The model becomes a digital asset, but the added value is currently not understood by all parties involved in the BIM process. » (Holzer, 2007, p. 4) [518]

---

[515] « De nombreuses interfaces utilisateur, cependant, forcent l'utilisateur à progresser linéairement dans une tâche où chaque étape remplace l'état actuel par un nouvel état. » Trad.Gouezou

[516] L'optimisation des processus et le culte du résultat peut évoquer le *Lean mangement*

[517] Selon la définition qu'en donne le CNRTL, péremptoire signifie ce « Qui présente un caractère décisif, excluant toute discussion. Synon. catégorique, sans réplique. Argument, ordre, preuve, réfutation péremptoire. Une réponse directe et péremptoire à toutes les objections » in http://www.cnrtl.fr/definition/p%C3%A9remptoire

[518] « Une certaine réticence à faire le travail BIM est apparente chez les architectes. […] L'une des raisons en est que les architectes ne sont de loin pas les seuls à pouvoir bénéficier de la création d'un modèle BIM. […] Le travail est effectué par les parties en amont mais favorise principalement les parties en aval - notamment le client, les sous-traitants et les opérateurs. Le modèle devient un actif numérique, mais la valeur ajoutée n'est actuellement pas comprise par toutes les parties impliquées dans le processus BIM. » Trad.Gouezou

Dans l'idéal de l'interopérabilité, le modèle exécuté par l'architecte doit bénéficier à tous et être enrichi collégialement, l'architecte est en charge du pic d'effort du début de conception, ce qui interrogerait sur une éventuelle disparité d'effort défavorable à l'architecte. Admettant les bénéfices du BIM, nous serions réservés s'il n'était utilisé que pour réduire le temps de l'idéation. Refuser d'accorder du temps à l'exploration revient à nier le caractère instable de l'architecture en phase projet, qui requiert des tentatives avec les échecs qui vont avec. La précipitation n'apparaît pas comme l'état le plus indiqué pour la concevoir convenablement. Il est encore admis qu'il existe, avant la construction effective, une construction mentale préalablement menée par l'architecte que l'on appelle projet. Là où les différents documents étaient auparavant synthétisés par l'architecte dans cette modalité du projet, c'est maintenant dans la modélisation BIM que s'opère l'intégration de la pré-construction. En somme, nous avons vu que, du fait du BIM, le rôle de l'architecte est bouleversé, l'effort de conception est anticipé, et que le temps créatif s'en retrouve compressé en amont. Nous avons vu que ce stress provient de la logique concourante du BIM qui, fonctionnant en temps masqué, somme l'architecte de livrer plus tôt une ébauche de projet sans quoi il serait responsable du désœuvrement du reste de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Le temps créatif de l'idéation, ou conception-créative, n'est plus sanctuarisée. Il résulte de cette marche en avant, entre autres choses, une marginalisation des considérations problématiques et dialectiques au profit d'une démarche plus sûre d'elle-même, monosémique, moniste (Bouleau, 2015) qui est défavorable aux points de vue alternatifs, forçant la marche en avant du projet.

4.2.2. Fixations de conception causées par la CAO

Nous supposons que la modélisation BIM, et notamment ses effets d'optimisation, renforcent un problème de fixation de conception (*design fixation*) propre au concepteur expert. Concernant la question de l'expertise, nous avions vu dans la section 1.2.3 des travaux relatifs à l'expertise en conception qui montrent que les solutions sont trouvées plus rapidement. Selon Purcell et Gero (Purcell and Gero, 1998, p. 399), Katz [519] a montré que les concepteurs experts priorisent mieux leurs tâches, et reconnaissent mieux les contraintes. Selon Casakin et Goldschmidt, l'expert mobilise ses connaissances pour trouver plus rapidement des solutions, notamment en utilisant le principe d'analogie (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154). Selon Curry, le concepteur expert se réfère spontanément à son expérience et ses connaissances tacites pour trouver des solutions (Curry, 2014, p. 633). Schön conjecture que les concepteurs experts en savent plus que ce qu'ils peuvent dire, supposant le caractère tacite et intuitif du savoir expert (Schön, 1983, pp. 8–9), ce qui lui permet de régler un problème inconnu. (Schön, 1992, p. 11) avec une part d'improvisation (Schön, 1983, p. 55). En somme, le concepteur expert va plus spontanément et directement à la solution de conception. D'autres études montrent que la cognition du concepteur expert fonctionne par raisonnement comparatif. Le raisonnement analogique (*Design By Analogy, DBA*) permet la résolution de problèmes par la similitude entre les relations possibles dans la situation cible et les relations connues (Casakin and Goldschmidt,

[519] (Katz, 1994)

1999, p. 154) ; ces analogies sont plutôt visuelles. Selon Schön, le concepteur produit des représentations associées au langage par lesquelles il établit une conversation réflexive avec une situation particulière (Schön, 1983, pp. 78–79). En somme, le concepteur expert solutionne les problèmes de conception, même s'ils sont inconnus, grâce à son savoir tacite et l'approche par analogie à l'aide d'images et du langage. L'effet collatéral de cette expertise peut-être la moindre considération de solutions alternatives. Nous pouvons craindre que la surdétermination de la conception causée par la modélisation BIM n'accentue cet empressement et, avec lui, la déconsidération de solutions alternatives, car il est avéré que la CAO renforce les phénomènes de fixation. Nathan Crilly (2015), dans son étude sur le rapport entre créativité et fixation auprès de designers confirmés, apporte des éléments de réponses concernant les liens de causalité entre la CAO et des problèmes de fixation. Crilly restitue les résultats de différentes études sur le problème de la fixation de conception (*Design fixation*) entendue comme l'éradication prématurée de solutions alternatives chez les concepteurs experts qui sont aveuglés, ou du moins encombrés, par leur expérience leurs connaissances, avec un renforcement de ce travers par l'usage de logiciels de CAO :

> « Also studying engineering design, Robertson and Radcliffe's (2009) participant observation study revealed some negative effects of CAD systems on creativity, including premature fixation, circumscribed thinking, and bounded ideation. Where the development of CAD models acted to discourage making major design changes, 'a resistance developed to ideas which would lead to too many changes to the model, even if these changes would solve numerous problems or make other improvements such as reducing overall project risk' (Robertson & Radcliffe, 2009: p. 137).22 Results from a follow up questionnaire study showed that designers seek to reduce this effect through the delayed implementation of a highly structured model (Robertson & Radcliffe, 2009: p. 141). » (Crilly, 2015, p. 62) [520]

Pour le redire simplement, la CAO tolère mal les modifications. Précisons que cette étude de Brett Robertson et David Radcliffe visant à éclaircir les impacts des outils de CAO sur la créativité de concepteurs ingénieurs (Robertson and Radcliffe, 2009) compte seize incidents de conception dans son protocole dont huit, soit la moitié, sont des fixations prématurées. Deux autres catégories de problèmes liés à la CAO sont identifiées. Il s'agit de la pensée circonscrite (*circumscribed thinking*) où les contraintes de la CAO influencent un choix de conception (trois incidents) et l'idéation limitée (*bounded ideation*) où les contraintes de la CAO la disqualifient pour mener des tâches d'idéation (deux incidents). Robertson et Radcliffe ont constaté les meilleures performances des concepteurs travaillant par esquisse à la main comparativement à ceux utilisant un logiciel de CAO :

[520] « L'étude d'observation des participants de Robertson et Radcliffe (2009) a révélé des effets négatifs des systèmes de CAO sur la créativité, y compris le fixation prématuré, la pensée circonscrite et l'idéation limitée, étaient négatifs. Là où l'élaboration de modèles CAO a découragé l'apport de changements majeurs à la conception, " une résistance s'est développée aux idées qui entraîneraient trop de changements au modèle, même si ces changements permettraient de résoudre de nombreux problèmes ou d'apporter d'autres améliorations comme la réduction du risque global du projet " (Robertson et Radcliffe, 2009 : p. 137). Les résultats d'une étude par questionnaire ont montré que les concepteurs cherchent à réduire ce risque effect par le retard dans l'application d'un modèle hautement structuré (Robertson et Radcliffe, 2009 : p. 141). » Trad.Gouezou

> « It was observed […] that more ideas were generated by the team members who did not use the advanced 3D CAD tools. Furthermore, the best environment for idea generation tended to occur away from computers, in small meetings, characterised by large amounts of sketching and discussion. It seems that the mundane nature of drafting on a computer, exacerbated by technical problems and software bugs, is a distraction from the actual process of designing, and especially from idea generation and creative problem solving. The intrinsic motivation of the designer has a central role to play in promoting creativity» (Robertson and Radcliffe, 2009, p. 142) [521]

La génération d'idées est mieux soutenue par les croquis et discussions, loin des ordinateurs qui distraient le concepteur. Les tâches d'idéation requièrent une pleine mobilisation de l'attention du concepteur, ce qu'entrave l'interface de CAO avec toutes ses fonctionnalités et complexité. Pour expliquer ces faibles performances de la CAO pour l'idéation, rappelons que la CAO semble escamoter la traduction constructive (Evans, 1986) qu'offre l'approche par représentation. Nous avions vu dans la section 4.1.3 que la modélisation BIM pouvait être considérée comme une transcription (Estevez, 2013a, p. 7) littérale entre les intentions du concepteur et la réalité constructive correspondante. La simulation des comportements futurs donne des réponses anticipées sur les choix de conception qui viennent renforcer l'expertise du concepteur mais, ce faisant, peut entraver l'imagination et la considération d'idées alternatives. Ce blocage de l'imagination par la CAO pourrait s'expliquer grâce aux dernières versions du modèle de Baddeley[522] intégrant les images (boucle visuospatiale ou carnet de croquis), les langages (boucle phonologique) (Baddeley, 1992) et, à terme, la proprioception (boucle kinesthésique) (Baddeley, 2010) pour relier les mémoires à court et à long terme et permettre le travail conscient de l'« administrateur central » (*central executive*). Il ne peut être exclu que la pleine liberté de mouvement du corps, par exemple via les gestes dessin d'esquisse, soit plus favorable à l'idéation que la posture figée, contrainte, face à un poste informatique avec une interface *WIMP*. Nathan Crilly, dans son étude sur le rapport entre créativité et fixation auprès de designers confirmés, expose bien le délicat équilibre attentionnel auquel ils sont soumis face aux idées alternatives, devant choisir entre changer de point de vue et explorer de nouvelles idées de conception ou bien persévérer pour exploiter une idée de conception, ce qui rappelle le dilemme du chercheur d'or de Lachaux (Lachaux, 2015). Selon Crilly, les concepteurs doivent rester ouverts aux alternatives tout en étudiant une idée particulière :

> « remaining open to the possibility of other ideas and persisting in the belief that an idea is worth developing despite alternatives. Persistence and openness can thus be reclassified as factors that encourage and discourage fixation (respectively). Openness, whilst valuable, not only

[521] « Il a été observé [...] que davantage d'idées ont été générées par les membres de l'équipe qui n'ont pas utilisé les outils avancés de CAO 3D. En outre, le meilleur environnement pour la génération d'idées avait tendance à se produire loin des ordinateurs, dans de petites réunions, caractérisées par de grandes quantités de croquis et de discussions. Il semble que la nature mondaine du dessin sur ordinateur, exacerbée par les problèmes techniques et les bogues logiciels, soit une distraction par rapport au processus réel de conception, et surtout par rapport à la génération d'idées et à la résolution créative de problèmes. La motivation intrinsèque du concepteur a un rôle central à jouer dans la promotion de la créativité. » Trad.Gouezou

[522] Cf. Figure 4

> conflicts with the need for persistence but also consumes resources because it delays commitment. » (Crilly, 2015, p. 75) [523]

L'arrêt (*remaining*) sur une idée entraine un déficit d'ouverture puis une fixation, et inversement, un excès d'ouverture (*openness*) entraine l'agitation, empêche la concentration nécessaire au développement d'une idée. Christophe Hardy propose, pour le domaine musical, une définition de cette séquence particulière qu'est l'étude, où le temps est suspendu, qui peut nous éclairer sur l'étude comme une parenthèse :

> «Étude: composition instrumentale destinée à l'apprentissage technique. Elle recherche la maîtrise d'une difficulté en l'isolant, en l'abordant de façon raisonnée, systématique et répétitive pour mieux la vaincre et l'apprivoiser. Elle laisse néanmoins s'exprimer la créativité artistique, ce qui la distingue d'un simple exercice » (Hardy, 2007)

L'apprentissage résultant de cette parenthèse d'étude amène à un niveau de maîtrise d'une idée donnée évoque la tentative de Pareyson (Pareyson, 2006), l'expert se tourne instinctivement vers un espace de solution qui lui épargne le besoin de toutes les étudier. Le problème de fixation répond à celui de la tentative lorsque celle-ci est trop restreinte et exclut des alternatives. La parenthèse de l'étude se poursuit par le développement de l'idée ou bien se referme par la considération d'idées alternatives. Le processus d'idéation implique une gestion de l'effort cognitif, et peut être défini comme une dynamique attentionnelle équilibrée entre une idée et ses alternatives selon un principe dialectique cognitivement frugal. Un medium « transparent » comme le dessin d'esquisse permet une expressivité optimale.

4.2.3. La « monumentalité » du BIM et son inadéquation à l'esquisse

Nous savons que la modélisation BIM offre une certaine « plasticité », facilitant les modifications grâce à l'automatisation des documents basée sur un unique modèle 3D, nous savons que la modélisation se prête à toutes les modifications de façon plus légère qu'en DAO. Nous savons que le principe de propagation des contraintes de certains logiciels de CAO-BIM permet de faciliter aussi des changements « lourds » comme un changement de niveau. Nous proposons cependant de considérer la modélisation BIM d'un point de vue contraire : comme un monument numérique de géométries et d'informations. La marche en avant inhérente à la modélisation BIM conduit à l'accumulation de décisions de conception traduite par des données géométriques ou non géométriques. La modélisation BIM peut être vue comme un ensemble de choix progressant vers une forme de plus en plus incontestable, tel une accrétion ou un monument. L'aspect visuel d'objet fini et intact, comme gravé dans le marbre semble incompatible avec le repentir. La rétroactivité de la modélisation BIM semble compromise, évoquant plutôt une privation de possible retour en arrière. L'état de la modélisation BIM ne

[523] « rester ouvert à la possibilité d'autres idées et persister dans la conviction qu'une idée vaut la peine d'être développée malgré les alternatives. La persévérance et l'ouverture peuvent donc être des facteurs qui encouragent et découragent la fixation (respectivement). L'ouverture, bien que précieuse, non seulement contrevient au besoin de persévérance, mais elle consomme aussi des ressources parce qu'elle retarde l'engagement. » Trad .Gouezou

rend pas compte des états précédents du projet, nous avons alors parlé[524] d'un facteur amnésique de la modélisation BIM apparenté avec l'aspect anti-génétique décrit par Scheer (Scheer, 2014, p. 35). Scheer, constate une forme de déclin du rôle du dessin dans la conception architecturale à cause de l'incursion de l'approche par donnée (*data driven*) :

> « Building is increasingly about information. This has always been true in a sense, but most architects did not think of their drawings as information-bearing devices. Now it is information that is clearly at the core of our activity. We no longer draw; we create information models that contain data about building materials and systems. We focus on how information is transmitted from one party to another, making transmission as transparent and lossless as possible using digital media. We have realized the age-old dream of living in the clouds, where our data (and our designs) now reside » (Scheer, 2011, p. 9)[525]

Scheer commente la tendance du secteur de la construction à se réduire à la notion d'information concentrée contenue dans la modélisation informatique, où nous retrouvons la proposition du remplacement de l'approche par représentation par l'approche par modélisation. Il est facile de comprendre que cette grande quantité d'informations est utile aux phases descriptives et prescriptives de la conception, mais ça l'est moins s'agissant de la phase générative aux commencements de la conception. L'inadéquation de la CAO ou de la modélisation BIM à l'esquisse a été commentée (Chupin, 2002, p. 67) (Huot, 2005, p. 35) (Holzer, 2007, p. 3) (Deshayes, 2014, p. 76). Hannu Pentillä et al (2007) argumentent que la modélisation BIM convient aux phases d'étude pour les descriptions et de contractualisation pour les prescriptions, mais pas pour la première phase de conception créative pour la génération d'idées :

> « BIM should not be seen as the one and only design method for an architectural designer in the early phases of a project. BIM is rather a method to be used, if and when interactive data exchange is required in later project phases. BIM has been developed and so far also piloted mainly in detailed design and technical construction phases. For the early design context BIM is still a recommended entry point but one which needs further investigation, especially when further knowledge in the building project information chain is the desired objective in the information logistics of the construction field. » (Penttilä, 2007, p. 301)[526]

[524] Cf. section précédente 4.2.2

[525] « La construction est de plus en plus une question d'information. Cela a toujours été vrai dans un sens, mais la plupart des architectes ne considéraient pas leurs dessins comme des supports d'information. Aujourd'hui, c'est l'information qui est clairement au cœur de notre activité. Nous ne dessinons plus, nous créons des modèles d'information qui contiennent des données sur les matériaux de construction et les systèmes. Nous nous concentrons sur la façon dont l'information est transmise d'une partie à l'autre, rendant la transmission aussi transparente et sans perte que possible en utilisant les médias numériques. Nous avons réalisé le rêve séculaire de vivre dans les nuages, où nos données (et nos conceptions) résident maintenant. » Trad Gouezou

[526] « Le BIM ne doit pas être vu comme la seule méthode de conception possible pour un concepteur architectural pour les premières phases d'un projet. Le BIM est plutôt une méthode à utiliser lorsqu'un échange de données interactif est requis dans les phases ultérieures du projet. Le BIM a été mis au point et, jusqu'à présent, mis à l'essai principalement dans les phases descriptives ou constructives et techniques de conception. Pour le contexte de conception précoce, le BIM est toujours un point d'entrée recommandé, mais nécessitant des recherches approfondies, notamment lorsque des connaissances supplémentaires dans la chaîne d'informations du projet de construction sont l'objectif souhaité dans la logistique de l'information dans le domaine de la construction.»Trad.Gouezou

Pour la conception précoce, le BIM nécessite des recherches approfondies pour que les premières tâches d'idéation soient mieux prises en compte. Ce n'est pas le cas pour l'instant, les informations restent excessives tout comme l'interface du logiciel mobilise trop l'apprentissage et la cognition en général, ce en regard des besoins cognitifs adaptés aux tâches d'exploration en conception-créative. Cette overdose de données et de fonctionnalités conduit encore au constat de l'inadéquation de l'informatique aux tâches créatives. L'informatisation du dessin d'esquisse pourrait pourtant apparaitre comme une solution d'expression contradictoire à cette monumentalité de la modélisation BIM. Une expression graphique libre permettrait de réintroduire les points de vue contradictoires, de reconsidérer des solutions alternatives, de contester des choix etc. Selon Pour Catherine Deshayes, l'informatique ne semble pas avoir pour le moment les moyens de concurrencer le dessin à la main :

> « Nous constatons que l'architecture numérique et les outils CAO ou de modélisation actuels ne permettent toujours pas d'interpréter l'esquisse de l'architecte qui nécessite des liaisons « intelligentes » (Leclercq, Martin, Deshayes & Guena, 2004), et cela bien que certains outils de CAO comme Autocad, Rhino ou Sketchup offrent la possibilité de réaliser des esquisses numériques. La numérisation de cette complexité de l'architecture, si elle est possible, nécessite le détour par la compréhension du processus en identifiant en premier lieu les caractéristiques de l'émergence de ce type de dessin. Leur utilisation fait appel à des schèmes de conception qui diffèrent de ceux de l'esquisse manuelle. Le fait est qu'actuellement ils ne permettent encore ni d'égaler ce processus de conception ni d'interpréter ce type de dessin. » (Deshayes, 2014, p. 76)

On peut observer en école ou en agence d'architecture la permanence du recours au dessin d'esquisse ou dessin libre à la main pour les commencements de la conception créative, notamment pour les tâches d'idéation. Nous supposons aussi que cette persistance du dessin libre en phase d'esquisse se justifie par sa meilleure adéquation aux besoins d'expressivité et de recherche du concepteur, la modélisation intégrative dont parle Destombes ne concernerait donc pas la phase de pré-conception ou de conception créative pour quoi le dessin génératif reste optimal. Est-ce à dire que toute informatisation du dessin d'esquisse ou d'une expression contestataire équivalente est inaccessible ? Il est difficile de tenir une position définitive à ce sujet. Ben Jonson a recueilli des données de sessions d'idéation organisées avec des étudiants-concepteurs pour déterminer quel serait le *medium* privilégié pour les tâches créatives :

> « In broadening the concept of sketching, then, CAD is not just a narrowly defined technical drawing tool but a conceptual tool capable of developing new ways of perceiving and conceiving design. That is, CAD may foster new patterns, relationships, or aesthetics expanding, rather than reducing designers' creative options, as suggested by the participants in their use of computing for conceptualising […]. Arguably, then, the view that CAD is inappropriate for conceptualising seems to be based on a preconception of conceptual tools as surface, rather than deep structures. » (Jonson, 2005, p. 623) [527]

[527] « En élargissant le concept d'esquisse, la CAO n'est donc pas seulement un outil de dessin technique étroitement défini, mais un outil conceptuel capable de développer de nouvelles façons de percevoir et de concevoir le design. En d'autres termes, la CAO peut favoriser l'expansion de nouveaux modèles, de nouvelles relations ou de nouvelles esthétiques, plutôt que de réduire les options créatives des concepteurs, comme le suggèrent les participants dans leur utilisation de l'informatique pour conceptualiser […]. On peut donc soutenir que le point de vue selon lequel la

Cette assertion de Jonson invite à ne pas jeter l'anathème sur la CAO concernant les tâches créatives. Fondée sur une acception plus large du terme « esquisse » qui nous servira pour notre étude comparative, elle va à l'encontre des arguments que nous avons présentés jusqu'à présent qui tendent à disqualifier la CAO pour les tâches d'idéation. Jonson nous conduit à nuancer le point de vue anti CAO pour l'idéation en évitant d'hypothéquer les chances que la CAO devienne propre à l'idéation. Les esquisses informatisées seraient possibles en principe, mais elles resteraient entravées par l'interface des outils de CAO, incapables d'égaler la simplicité du dessin à la main, medium plus « naturel ». L'argument de Beaudouin-Lafon (1997) cité par Huot (Huot, 2005, p. 36), juge les outils de CAO contre-intuitifs, notamment lors des premières phases d'idéation. Holzer semble considérer que la quantité d'informations saisies dans la modélisation BIM tend à la « pétrifier », et finit par la rendre si pénible à manipuler pour des modifications qu'il devient inenvisageable de s'en servir pour une tâche d'idéation :

> « designers combine slow reflection with the necessity to keep many things in mind at the same time for rapid decision making (Lawson, "Oracles" 389). Current tools often do not allow designers to keep various options open for evaluation simultaneously. What does this mean for BIM? […]The more information is added into a BIM model, the less likely one will be able to remain flexible in the creation of alternative versions. This leads to the assumption that with current computational capabilities, a BIM model which includes the necessary information for documentation only makes sense once the basic geometry remains fixed and will not be altered. For design-explorations in the earlier design stages where changes occur due to the input of a variety of reasons, lighter data-sets and models for project-representations are required. » (Holzer, 2007, p. 4) [528]

Alourdie par une quantité d'information, la modélisation BIM ne parviendrait pas à garder ouvertes d'autres options que celles qu'elle présente par opposition à un plan imprimé qui peut recevoir une annotation supportant une idée alternative attachée au support. Cette critique décrit un mouvement de fermeture d'options, de choix qui font dire à Holzer que la modélisation informatique ne convient pas aux tâches de modifications pourtant constantes en conception. Holzer dit en creux que la modélisation BIM a pour effet de déterminer jusqu'à un niveau de détail excessif les éléments architecturaux, et que l'investissement en temps et en énergie consenti pour cela rend difficile de les modifier ensuite. Nous avons vu section 3.3.4 que l'esthétique « achevée » des documents graphiques résultants de la modélisation BIM est aux antipodes de l'aspect flou et brouillon du dessin d'esquisse à la main et gène l'idéation selon Michel Delplace d'ANMA. La précision et la détermination causées par la modélisation BIM

CAO est inappropriée pour la conceptualisation semble reposer sur une idée préconçue des outils conceptuels en tant que surface, plutôt que sur des structures profondes. » Trad.Gouezou

[528] « les concepteurs combinent la réflexion lente avec la nécessité de garder à l'esprit de nombreuses choses en même temps pour la prise de décision rapide (Lawson "Oracles" p.389). Souvent, les outils courants ne permettent pas aux concepteurs de garder ouvertes de nombreuses options pour évaluation simultanément. Qu'est-ce-que cela signifie pour le BIM? […] Plus des informations sont ajoutées au modèle BIM, moins on sera capable de rester flexible dans la création de versions alternatives. Ceci mène à l'hypothèse qu'avec les capacités computationelles courantes, un modèle BIM qui inclut l'information nécessaire pour la documentation ne fait sens qu'une fois que les géométries basiques restent fixes et ne seront pas altérées. Pour les explorations de conception aux toutes premières étapes du projet où les changements surviennent pour de multiples raisons, une base de données et un modèle plus légers pour la représentation du projet sont requis » Trad.Gouezou

n'incitent pas aux remises en cause qui entraineraient un trop grand effort. « Monument » géométrique et informationnel, cette modélisation BIM contraste avec l'altérité et la souplesse des dessins d'esquisse aptes à soutenir l'idéation, à supporter la précarité concomitante. Dorta, Hoffmann et leur équipe résument ainsi un consensus à ce sujet dans la littérature dédiée :

> « Compared to accurate plans and finished shapes, sketches are a better way to represent architects' thinking and deliberations during the first steps of the process. Sketches allow the discovery of new ideas in unexpected ways. Unlike conceptually rigid computer-aided design (CAD) models, sketches provide affordances for design and redesign because they are much easier to manipulate » (Perez Gomez, 2005, p. 217) [529]

La versatilité du dessin d'esquisse est décrite comme inaccessible aux machines. Durant les premières étapes du processus, les croquis sont un meilleur moyen pour représenter les pensées et délibérations des architectes, pour envisager des alternatives et de faire des découvertes inattendues. Une assertion de Garber précise le rôle séminal - génétique - des dessins d'architecte. La convention d'équivalence entre le dessin et le projet y est présentée comme une « foi » dans le fait qu'un trait vaut la chose construite, et nous retrouvons :

> « Without the architect's faith that geometrically defined lines will engender something else more substantial yet discernible through the drawing, without faith in the genetic message inscribed on paper, there is no architecture » (Evans, 1995, p. XXVI)[530]

Alberto Perez Gomez parle de la même convention de la représentation architecturale qui fait correspondre dessin et objet comme un fondement perpétué par les outils numériques :

> « Architectural conception and realisation usually assume a one-to-one correspondence between the represented idea and the final building. The fact that digital media also make this literal transcription more feasible through automation and robotics has resulted in an unwillingness to question this premise. Absolute control is essential in our technological world » (Perez Gomez, 2005, p. 217) [531]

La sophistication de la modélisation BIM peut tendre à dépasser cette acception jusqu'à croire que la modélisation et la simulation associée vaut l'objet conçu et à imposer l'approche « moniste » que fustige Bouleau (2015). Il peut en résulter un sentiment présomptueux de contrôle qui n'encourage pas la remise en cause ni la considération d'alternatives, mais qui renforce les fixations de conception. La précision grandissante des simulations informatiques

[529] « Comparé à des plans précis et à des formes finies, les croquis sont un meilleur moyen pour représenter les pensées et délibérations des architectes durant les premières étapes du processus. Les croquis permettent la découverte de nouvelles idées de manières inattendues. Contrairement aux modèles en Conception Assistée par Ordinateur (CAO) rigide conceptuellement, les croquis procurent des affordances pour la conception et re-conception parce qu'ils sont plus faciles à manipuler » Trad.Gouezou

[530] « Sans la foi de l'architecte que des lignes géométriquement définies engendreront quelque chose de plus substantiel mais perceptible à travers le dessin, sans la foi dans le message génétique inscrit sur le papier, il n'y a aucune architecture. » Trad.Gouezou

[531] « La conception et la réalisation architecturale supposent généralement une correspondance individuelle entre l'idée représentée et le bâtiment final. Le fait que les médias numériques rendent également cette transcription littérale plus facile grâce à l'automatisation et à la robotique a entraîné une réticence à remettre en question cette hypothèse. Le contrôle absolu est essentiel dans notre monde technologique » Trad.Gouezou

pourrait effectivement produire un tel effet de réel qu'il en deviendrait difficile de les remettre en cause, faisant par contraste apparaitre une convention de la représentation comme salutaire par la distance qu'elle instaure entre l'architecte et son projet. Prendre un modélisation BIM pour « argent comptant », sans distanciation, la conforterait en tant que modèle-monument. Si elle permet d'encapsuler une grande quantité d'informations, l'appréhension de ces informations reste bien moins aisée qu'elle ne l'était sur les dessins et plans, qui ont le mérite de mettre à plat ces informations, d'exposer les règles[532] du projet. Kiviniemi envisage une adaptation du rôle du dessin au temps du BIM :

> « this does not necessarily mean that drawings would be obsolete: their role could change from the storage of information to a view of the information; the information is stored in the model and necessary drawings are generated from it. […] we do not have a tradition of how to read the models. In fact, BIMs contain information in such format and quantity that they are simply not human-readable; we must always look at them from some specific viewpoint related to the information we need in our task. Drawings are one of these viewpoints, and we are convinced that they will maintain their position among the views we will have of the BIMs in the future. » (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 44) [533]

Les modélisations BIM contiennent trop d'informations pour pouvoir être lus « humainement », sans l'aide de machines. L'argument de la « monumentalité » de la modélisation BIM suggère une forme d'intégrité excessive provenant des informations accumulées, univoques, consolidées : la modélisation BIM résulte de choix traduits en géométries et en informations dont l'accumulation ne permet plus, à un certain moment, d'en comprendre le sens et devient difficilement requestionnable. David Scheer explique bien la différence entre le dessin représentationnel et la modélisation simulante, plus performative :

> « digital information models that have replaced drawing do not represent, but simulate, buildings. These models "behave" in a computer like the buildings they describe behave in reality, allowing them to be used to predict the buildings' performance. Performance of various kinds becomes the predominant design criterion. The distance between description and object is ultimately eliminated and with it the space needed for creative ambiguity. » (Scheer, 2011, p. 196) [534]

Nos arguments se retrouvent dans cette conclusion de Scheer posant l'absence de recul par rapport à une modélisation qui est causé par une trop grande proximité avec l'objet simulé, au

[532] Cf. section 3.3.7

[533] « cela ne signifie pas nécessairement que les dessins seraient obsolètes: leur rôle pourrait passer du stockage de l'information à une vue de l'information; Les informations sont stockées dans le modèle et les dessins nécessaires sont générés à partir de celle-ci. [...] nous n'avons pas l'habitude de lire les modèles. En fait, les BIM contiennent des informations dans le format et la quantité qui ne sont tout simplement pas lisibles par l'homme; nous devons toujours les regarder à partir d'un point de vue spécifique relatif aux informations dont nous avons besoin dans notre tâche donnée. Les dessins sont l'un de ces points de vue, et nous sommes convaincus qu'ils maintiendront leur position parmi les points de vue que nous aurons sur les BIM à l'avenir » Trad.Gouezou

[534] « les modèles d'information numérique qui ont remplacé le dessin ne représentent pas des bâtiments, mais les simulent. Ces modèles "se comportent" dans un ordinateur comme les bâtiments qu'ils décrivent se comportent dans la réalité, ce qui permet de les utiliser pour prédire la performance des bâtiments. Les performances de différents types deviennent le critère de conception prédominant. La distance entre la description et l'objet est finalement éliminée et avec elle l'espace nécessaire à l'ambiguïté créative. » Trad.Gouezou

point que toute ambigüité s'en trouve évacuée, fragilisant ainsi les approches interprétatives et créatives. La simulation ne considère que les critères implémentables dans la modélisation, excluant logiquement tout ce qui n'est pas factuel, quantifiable et modélisable. Scheer explique:

> « the beauty, if one can call it that, of simulation is that it makes performativity natural since it excludes by its nature all aspects of experience to which performative criteria cannot be applied » (Scheer, 2014, p. 39)[535]

Scheer expose bien la nature performancielle de la modélisation BIM comme Louis Destombes qui y voit aussi l'expression de la prévalence des aspects performanciels (Destombes, 2018, p. 347). La succession de ces simulations rend possible un *monitoring* de la modélisation BIM. La modélisation BIM semble favoriser une forme de thésaurisation des réponses acquises cumulativement qui édifieraient la monumentalité dont nous parlions. Comment, dans ces conditions, explorer et faire des découvertes ? Comment inventer ? Un manque de dialectique entre l'architecte et son projet, induit par le monosémisme de la modélisation BIM, n'entretient pas les approches délibératives, les analyses critiques, ne soutient pas les alternatives. Catherine Quinet affirme le rôle joué par l'émotion dans la prise de décisions :

> « La prise de décision fait appel à des processus délibérés ou réfléchis et à des processus intuitifs et aussi à des processus de type émotionnel qui orientent l'attention. » (Quinet, 1994, p. 146)

Puis elle expose comment les modalités inventives complètent les modalités analytiques de la rationalité limitée :

> « la délibération a ceci de remarquable par rapport au calcul qu'elle manipule des objets qui sont pour certains inventés (Mongin [1986], p.598). [...] la délibération est irréductible au calcul car elle invente pour partie les objets qu'elle manipule. C'est cette différence précisément que manque l'approche optimisatrice de la rationalité limitée. Il nous faut maintenant revenir à la distinction qu'a introduite H.Simon entre le procédural et le substantiel. [...] seul un modèle de type procédural de la rationalité, c'est-à-dire un modèle qui intègre les moyens auxquels l'agent recourt pour faire face à la complexité cognitive serait à même de saisir la place de l'invention dans le comportement rationnel. [...] Ces processus qui composent la phase délibérative font appel aux facultés de raisonnement et d'invention. ». (Quinet, 1994, p. 145)

De ce point de vue, la modélisation BIM relèverait encore trop du principe « optimisateur » de rationalité limitée[536] et devrait tendre vers le principe « holistique » procédural[537]. Nous retrouvons l'idée que le calcul et la simulation sont distincts de l'invention, qui requiert une capacité à conjecturer et à spéculer. Ce serait le propre du projet d'induire un cheminement alliant raison et intuition et dont on ne connait pas l'issue à l'avance, par opposition à la modélisation BIM. Une différence entre un projet architectural et sa modélisation BIM pourrait

[535] « la beauté, si l'on peut l'appeler ainsi, de la simulation est qu'elle rend la performativité naturelle puisqu'elle exclut par nature tous les aspects de l'expérience auxquels les critères performatifs ne peuvent être appliqués » Trad.Gouezou

[536] Limitation de la rationalité liée à la prise en compte partielle

[537] Décrivant une forme de raisonnement contextuellement adéquat. (Simon, 1992). http://archive.mcxapc.org/docs/lesintrouvables/simon5.htm

être cette possibilité délibérative qu'offre l'association entre la rationalité limitée et l'invention, la maîtrise et le lâcher prise qui permet de tolérer l'inconnu et une problématisation contextualisée. Par opposition, la modélisation vise la détermination des éléments du projet. Vue la nature ambiguë[538] de l'architecture, l'intégrité de la modélisation BIM nous paraît excessive car elle ferait émerger prématurément l'approche constructive dès la préconception. Le sous-titre d'un document interne dédié au BIM d'une entreprise majeure du BTP, « Construire avant de construire » [539], est révélateur du tropisme d'une telle entreprise qui - à raison puisqu'elle se consacre à la construction - cherche à limiter les risques en anticipant les aléas du chantier. Selon nous, les logiques BIM poussent à la prise de décision et se prêtent mal à la délibération de l'architecte. Le sens de la précarité des idées est pourtant l'une des forces majeures de l'architecte qui, plus que tout autre, exerce sur son propre travail une analyse critique pouvant, si nécessaire, anéantir des efforts considérables si c'est architecturalement justifié. Les architectes sont plutôt moins enclins à accumuler, à optimiser, à thésauriser, à capitaliser sur leur travail : ils semblent préférer assumer des conditions d'instabilité propres à la conception architecturale. Si la question du sens importe en architecture, c'est peut-être aussi parce qu'elle procure une cohésion entre les composants disparates, pouvant jouer un rôle intégratif. En définitive, le caractère monolithique de la modélisation BIM contreviendrait à la nature précaire de la conception architecturale, et elle ne devrait pas être confondue avec le projet architectural. Pourrait-on critiquer la modélisation BIM et la « précariser » afin qu'elle soit plus représentative des intentions et de la démarche de l'architecte ? Est-ce qu'un mode de dessin « dissonant », dissensuel (Estevez, 2013b) pourrait réintroduire l'examen critique, la problématisation, la contradiction et l'ambigüité au cœur même de la modélisation BIM ?

[538]Ambivalent serait moins dramatique et décrirait mieux l'idée de Venturi qu'une pensée architecturale est polydimensionnelle, complexe et contradictoire : ellerépond à plusieurs contraintes et problèmes. On sait que le titre de l'ouvrage *Complexity and contradiction in Architecture* paru en 1984 à été traduit par *De l'ambiguité en Architecture* (Venturi, 1999)

[539] « Construire avant de construire ». https://www.bimgeneration.com/

4.3. Conclusion

Concernant le caractère a-dialectique de la modélisation BIM, nous avons vu que le manque de réciprocité dialectique de la modélisation BIM encourage la fixation et décourage la considération d'idées alternatives. Cet état de vigilance équilibré entre l'exploitation et l'exploration d'idée, entre l'idée considérée et les options alternatives est pourtant nécessaire aux premières phases créatives (Crilly, 2015, p. 75). Nous avons proposé que l'économie attentionnelle du concepteur, dans les premières phases de la conception créative, alterne entre les phases d'exploitation des idées où les options diminuent et le potentiel s'épuise et l'exploration où les options et le potentiel augmentent[540], et nous avons suggéré que la modélisation BIM est insuffisamment exploratoire. Le meilleur support de la conception est celui qui maintient l'équilibre entre l'information qu'elle véhicule et les questions qu'elle pose au moment opportun dans le processus de conception (Rieuf et al., 2017, p. 46), ce que nous appelons équilibre entre exploration et exploitation des idées, ou que d'autres comparent au dilemme du chercheur d'or (Lachaux, 2015). Ces représentations qui supportent la conception contient la mémoire et la génétique du projet (Evans, 1995, p. XXVI), ce qui nous parait être très lié à une forme de mémoire du processus de conception. L'intentionnalité et les suggestions sémantiques décodés par la traductions du concepteur dessinant permet des découvertes inattendues dans les écarts entre dessin et la situation de conception lors du transfert du projet en dessins (Destombes, 2018, p. 10). Les approches métaphoriques de la représentation architecturale que fustige Girard (Girard, 2014a, p. 251.252), convention où le trait vaut pour égal la chose construite, sont vues positivement par Robin Evans : comme une fiction capacitante (Evans, 1986, p. 3). La fiction capacitante d'Evans est un procédé de potentialisation des hypothèses de conception lors du dessin reposant dans les hiatus des traductions : le dessin est pris comme correspondant à la chose qu'il représente. Inversement, le principe de simulation caractérisant la modélisation BIM est « inéluctablement » littéral (Girard, 2014a, p. 251.252), il transpose (Estevez, 2013a, p. 7) tel quel l'objet conçu en modèle 3D. Sommes-nous en train de dire que le concept d'erreur est central à la conception créative en architecture ? Inversement, la marche en avant ou l'accrétion de la modélisation BIM éloigne l'architecte des erreurs mais aussi des possibles retours en arrière. Si la modélisation BIM n'empêche pas les itérations, elle semble décourager le repentir : elle serait a-génétique (Scheer, 2014, p. 35), nous avons dit amnésique. Elle semble plus responsive que problématisante, et semble défavorable au questionnement. Les premiers pas de la conception supposent pourtant la considération d'options contradictoires ou dissensuelles (Estevez, 2013a, p. 7), antagonistes, polémiques, les éléments, en se définissant les uns contre les autres, donnent du sens aux choix de l'architecte et ne devraient pas être assimilés à une perte de temps : ils assoient, au contraire,

[540] Dans le domaine des STIC, le chercheur Bill Buxton a mis au point en 2007 une méthode de Co-Design par l'esquisse dont une des figures décisive est le Design funnel (Buxton, 2007) (Buxton, 2011) ou entonnoir des concepts, qui illustre parfaitement cet effet de réduction des possibilités que génère le passage de l'exploration à l'exploitation, un mouvement d'ouverture à dix idées est suivi par un mouvement sélectif de fermeture à partir de quoi une autre salve de dix idées ouvre à nouveau les possibilités, et ainsi de suite.

le projet. En reprenant les arguments ou observations précédents qui recensent des effets de la mise en œuvre du BIM, nous avons argumenté l'idée que la logique de modélisation du BIM est en train de supplanter l'approche courante par représentation.

Concernant la conception à marche forcée, nous en sommes venus à considérer que les aspects sémantiques sont délégués à la machine sous la forme de *datas* attachées aux géométries, la logique de simulation prend le pas celle de traduction ou d'interprétation, décourageant la pensée longue de la délibération. Convergeant avec des études précédentes, nos critiques de la modélisation en CAO-BIM ont tenté de montrer son inadéquation aux tâches créatives des premières phases de la conception. Nous dirions que la modélisation BIM est trop monosémique ou moniste (Bouleau, 2015), qu'elle est trop monolithique, trop monumentale par excès d'informations et de déterminations, insuffisamment réflexive et rétroactive, trop consensuelle ou a-critique. Cette rigidité n'est pas propre au concept de modèle qui pourrait être pluriel, admettant des points de vue alternatifs comme l'a montré Nicolas Bouleau (Bouleau, 2005, p. 464). Mais la modélisation BIM est-elle définitivement incompatible avec une modalité de dessin contradictoire ?

Plus versatile que le modèle BIM, le dessin d'esquisse offrirait plus de liberté, d'expressivité, prendrait en charge l'ambigüité requise par les étapes dialectiques de la conception créative. La dialectique du dessin d'esquisse « bimable » permettrait la confrontation de points de vue permettant de soutenir la conversation réflexive du concepteur avec « une situation de conception » [541], avec ses idées et son projet. Contrairement à Kiviniemi et Fisher considérant que l'informatisation du dessin d'esquisse est fastidieuse et vaine (Kiviniemi and Fischer, 2009, p. 42), nous nous demandons si la modélisation BIM et le dessin d'esquisse sont irrémédiablement antinomiques. Nous supposons que l'informatisation du dessin d'esquisse mérite d'être explorée si cela permet d'établir une relation plus dialectique avec la modélisation BIM. Plus particulièrement, si l'on considère les problèmes posés par la modélisation BIM aux tâches créatives des premières phases du projet, si l'on considère simultanément le potentiel inconnu du dessin spatialisé en EV et si l'on considère leur communauté dimensionnelle, en 3D, cette piste de recherche prend du sens. Nous proposons de discerner deux voies possibles de dessin dialectique « bimable » en EV. Soit l'on considère le problème du dessin d'esquisse bi-dimensionnel, auquel cas on se réfèrerait à la production de documents plans, en 2D, et situables dans l'espace via une approche sur base plane (*plane-based 3d sketching*) comme *Mental Canvas* (Dorsey, 2007) ou *Hyve-3D* (Dorta et al., 2016). Soit l'on considère l'esquisse directement en 3D via le dessin tri-dimensionnel que nous avons nommé dessin spatialisé. Cette dernière solution est aujourd'hui plus accessible qu'avant par la diffusion de casques de réalité virtuelle[542] qui permettent d'envisager le développement d'outils de dessin spatialisé comme ceux que nous avons présenté avec diverses formes de dessin spatialisé de la section 2.4 (e.g. Google *TiltBrush*® [543], *VAirDraw*, etc.). Ce dessin

[541] Selon Visser, l'expression reprise par Schön (Schön, 1991) est dûe à Dewey (Visser, 2010, p. 2)
[542] HMD en anglais, pour *Head Mounted Display*
[543] https://www.tiltbrush.com/

spatialisé apportera-t-il à la modélisation BIM les moyens d'expression critique et dialectique qui lui manquent ? Si oui, comment faudra-t-il caractériser le dessin spatialisé dédié au BIM ?

PARTIE 2

5. HYPOTHESES D'UN MODE D'ESQUISSE BIMABLE

5.1. Critiquer la modélisation BIM par le dessin associé au langage

5.1.1. Précédents d'intégration du BIM et de la RV

Sampaio considère l'intérêt de l'association des atouts du BIM et de la RV pour lier la création et la manipulation de conceptions formalisées par des modélisations BIM que l'on peut visualiser et avec lesquelles on peut interagir (Sampaio, 2018, p. 60), elle considère que l'introduction des données BIM dans un environnement RV est un sujet trop peu étudié, même si nous pouvons aussi signaler les études de Milovanovic et al (Milovanovic et al., 2017) ou Kieferle et Woessner (Kieferle and Woessner, 2015b). Sampaio vise l'intégration d'un écosystème logiciel BIM (modeleur, *plugin*, visualisateur etc.) dans un environnement RV (casque ou CAVE, *data glove*, *tracker*, etc…), et plus encore la possibilité d'interagir avec la modélisation BIM géométriquement comme informationnellement. Elle argumente que l'intégration du BIM et de la RV se traduit par deux catégories de fonctionnalités majeures regroupant la notion de promenade (*walktrought*) dans le bâtiment et les fonctions d'accès, de consultation et d'interaction avec les informations modélisées (*consulting data*). Elle passe en revue (Sampaio, 2018, pp. 62–72) les appareils ou dispositifs tels *Samsung Gear VR*® , *Oculus Rift*® , ou les *CAVEs*® ou son dérivé avec une dénomination commerciale spécifique, l'EON Icube® . Du côté des logiciels de visualisation géométrique « bimables » elle relève *Hologram Projection*® , Smart Reality® , Prio VR® , Visidraft® et surtout Enscape® avec l'interface logicielle du EAO Icube qui semble compatible avec de nombreux type de fichiers distincts. Le cube immersif EON Icube[544] et son interface logicielle semblent se prêter à la « promenade architecturale », il propose un rendu graphique performant pour soutenir le sentiment immersif et intègre nombre d'appareils supplémentaires (*data-glove*, *joysticks*, systèmes de capteurs de mouvement). Concernant l'autre critère de Sampaio, la consultation des données, Sampaio relève les logiciels Autodesk360® comme plateforme collaborative, le plugin VR attaché à Revit®, Augment® qui est une application de réalité augmentée et encore et surtout Enscape® avec l'interface « bimable » d'EON® qui intègre aussi bien Revit® que son plugin de visualisation Enscape® qui lui est associé :

> « the two most relevant combinations of tools are Enscape and EON Icube that operate over Revit. With these tools the user can visualize the building, with more or less immersive capacity, and can consult data in a Revit environment. So, the user sees final aspect of building in Enscape and EON and, in addition, retrieve the correspondent Revit component (with materials constitution and mechanicphysic parameters » (Sampaio, 2018, p. 77) [545]

[544] https://www.eonreality.com/eon-icube/

[545] « les deux combinaisons d'outils les plus pertinentes sont Enscape et EON Icube qui fonctionnent sur Revit. Avec ces outils, l'utilisateur peut visualiser le bâtiment, avec une capacité plus ou moins immersive, et consulter les données dans un environnement Revit. Ainsi, l'utilisateur voit l'aspect final du bâtiment dans Enscape et EON et, en outre, récupérer le composant Revit correspondant (avec la constitution des matériaux et les paramètres mécanico-physiques).» Trad.Gouezou

Avec Enscape, EON et Revit, l'utilisateur peut visualiser le bâtiment et consulter les données en portant Revit en RV. Outre Enscape3D®, signalons les visualisateurs RV Oneiros® [546] compatible avec Revit® ou Sketchup® , et ainsi qu'IrisVR® [547] dont le plugin *Prospect pro plus*® est aussi dédié au logiciel Revit® et qui propose des modalités de *sketching* spatialisé libre sans correctif comparable à ce que nous souhaitons développer. Hormis la recherche de Kieferle et Woessner (Kieferle and Woessner, 2015b), nous constatons que la plupart des appareils cités sont de nature commerciale et non pas scientifique et expérimentale, de même pour les solutions logicielles qui émanent souvent du même éditeur. Sampaio semble donc avoir trouvé un équivalent commercial de l'interface « bidirectionnelle »[548] de Kieferle et Woessner (Kieferle and Woessner, 2015a), mais avec des solutions dont on peut supposer le caractère opérationnel, étant vendu « sur étagère » et pouvant bénéficier de support et mise à jours nécessaires de la part de l'éditeur. Ce système est centré sur le logiciel de modélisation de CAO-BIM Revit® qui est leader du marché et très présent en agence d'architecture et nous pouvons supposer que cette puissante dissémination de Revit® influe sur l'intérêt du modèle commercial d'intégration BIM et RV proposé par Sampaio. Toutefois, elle ne donne aucune information quant à d'éventuelles fonctionnalités de *sketching* spatialisé. Nous pouvons supposer que la mise en œuvre de cette intégration entre BIM et RV ne peut être menée que par des sociétés privées disposant de moyens conséquents. Nous avons qualifié la modélisation BIM de « monumentale »[549] ce qui peut être lié à la critique de Kiviniemi concernant la faible lisibilité de la modélisation BIM, nous avons aussi argumenté, dans les sections 3 et 4, à propos du problème de l'accès au contenu « informationnel » du modèle. L'immersion dans une scène centrée sur une modélisation BIM peut augmenter la sensation de tangibilité du modèle, et notamment, en stimulant la perception spatiale et visuelle (effet de parallaxe) ; susciter un comportement et des gestes de manipulation correspondants à cette sensation.

5.1.2. Précédents d'interfaces de sketching en RV pour l'idéation

Passant en revue les études sur le *sketching* informatisé pour proposer un outil adapté au travail sur modèles 3D, Schubert et al (2012) relèvent la recherche de Terry et Mynatt qui se distingue par l'objectif d'offrir à l'utilisateur une interface non contraignante, non linéaire, propice à l'exploration d'alternatives :

> «Terry and Mynatt examine the exploration of alternatives and their evaluation in detail (Terry and Mynatt 2002) and note that "interfaces should offer a dedicated space in which to perform near- term experiments, without needing to modify the document or its data. This capability is sometimes called a 'what-if' tool." Many user interfaces, however, force the user to progress linearly through a task where each step replaces the current state with a new state» (Terry and Mynatt 2002). (Schubert et al., 2012, p. 10)[550]

[546] https://oneirosvr.com/
[547] https://irisvr.com/
[548] Cf. section 2.4.4
[549] Cf. section 4.2.3
[550] « Terry et Mynatt examinent en détail l'exploration des alternatives et leur évaluation (Terry et Mynatt 2002) et notent que " les interfaces devraient offrir un espace dédié pour réaliser des expériences à court terme, sans avoir à modifier le document ou ses données. Cette capacité est parfois appelée un outil « et si ? ». De nombreuses

Terry et Mynatt ont mené une recherche sur les interfaces informatiques pour le dessin libre en 2D, l'exploration d'idées alternatives devrait pouvoir se faire sans dénaturer l'état actuel du document. Ils affirment que les interfaces informatiques devraient permettre des modalités de tentatives pour mener des micro-études hypothétiques permettant de considérer des alternatives sans conséquences sur l'avancement de la modélisation général. A cette fin de contrer la linéarité à laquelle les interfaces informatiques contraignent les utilisateurs, ils proposent une interface nommée *Design Horizon* offrant sur un deuxième écran qui complète l'écran principal, monitorant les variations de la conception selon les changements de paramètres et qui peut supporter de multiples variations. Ils appellent expérimentation à court terme (*near-term experience*) qui consiste à choisir une commande de l'interface et ses paramètres et d'éclairer les effets de ce choix :

> «When a user is unfamiliar with a command or the interface, they must enter a try undo cycle for the sake of discovering the available functionality. This try-undo cycle is distinct from the acts of trying and undoing a command in the process of reflection-in-action: The former case serves to uncover an interface's functionality (because it is not adequately conveyed by the user interface), while the latter case is an experiment» (Terry and Mynatt, 2002, p. 41) [551]

Le principe de l'expérience à court terme (*near term experience*) du *Design Horizon* de Terry et Mynatt devenu un outil « *what-if ?* » permet de lutter contre la linéarité de l'interface défavorable à l'idéation. Shubert et son équipe ont doté leur outil de fonctionnalités comparables, notamment de *sketching* virtuel en 3D :

> « In this mode it is possible to generate variations sequentially (one after the other) or in parallel (multiple ideas at the same time). A new 'sheet' of paper is simply added to the scene by dragging one out, while the previous version is shown in miniature on screen. Multiple miniature views of the same scene are visible at the same time. By clicking on one of the miniatures the user can return to an earlier variant. Variants can also be deleted at any time. Once the user is satisfied with a sketch, he or she can incorporate it by 'baking' it into the scene. The sketch becomes an integral part of the 3D scene and is always shown with further new variations» (Schubert et al., 2012, p. 10)[552]

L'utilisateur dispose de fonctionnalités pour varianter : une feuille permet d'explorer en 2D une version tandis que des vignettes représentent les autres versions, permettant de se dédire si

interfaces utilisateur, cependant, forcent l'utilisateur à progresser linéairement dans une tâche où chaque étape remplace l'état actuel par un nouvel état. » Trad.Gouezou

[551] « Lorsqu'un utilisateur n'est pas familier avec une commande ou l'interface, il doit entrer dans un cycle essai-erreur afin de découvrir les fonctionnalités disponibles. Ce cycle d'essai et d'annulation se distingue des actes d'essai et d'annulation d'un ordre dans le processus de réflexion dans l'action : Le premier cas sert à découvrir la fonctionnalité d'une interface (parce qu'elle n'est pas correctement véhiculée par l'interface utilisateur), tandis que le second cas est une expérience [de conception] » Trad.Gouezou

[552] « Dans ce mode, il est possible de générer des variations séquentielles (l'une après l'autre) ou parallèles (plusieurs idées en même temps). Une nouvelle " feuille " de papier est simplement ajoutée à la scène en la faisant glisser, tandis que la version précédente est affichée en miniature à l'écran. Plusieurs vues miniatures d'une même scène sont visibles en même temps. En cliquant sur l'une des miniatures, l'utilisateur peut revenir à une variante précédente. Les variantes peuvent également être supprimées à tout moment. Une fois que l'utilisateur est satisfait d'une esquisse, il ou elle peut l'incorporer en la " bakant " [plaquer le dessin sur le volume. NDLR] dans la scène. L'esquisse devient partie intégrante de la scène 3D et est toujours montrée avec de nouvelles variations. » Trad.Gouezou

nécessaire. Le dessin de la version élue peut être projeté sur le modèle 3D. Le principe fondamental de la proposition de Schubert et al est l'association du modèle physique avec son double numérique. La base de la plate-forme est une table tactile de grand format sur laquelle des volumes peuvent être posés, détectés et suivis (*tracking*). L'interface de dessin apparait en encadré sur la table tactile :

> « The core properties of the tools – rapid and intuitive handling, fuzzy precision, haptic quality and a direct connection to what is being designed – are maintained. By coupling the two directly, they can work hand in hand, making it possible to work at multiple levels. The interactive platform opens up new ways of designing in the architectural design process. » (Schubert et al., 2012, p. 5)[553]

Leur dispositif d'esquisse en 2D utilise une fenêtre de dessin spécialement ouverte sur la grande table tactile qui permet d'exécuter en 2D et le placer dans la scène 3D sur un « calque » semi-transparent. Ces dessins peuvent éventuellement être « mappés » (*baked*) sur les volumes 3D. Leur dispositif d'esquisse en 2,5D utilise une fenêtre de dessin spécialement ouverte sur la grande table tactile qui permet d'exécuter en 2D des dessins qui sont directement projetés sur les objets en 3D, ce qui prend tout son intérêt en architecture s'agissant, par exemple, d'expression de façade, projetés, « mappés » (*baked*) sur le volume 3D, ce dessin lui est associé dans les déplacements ou réduction d'échelle, par exemple. Cette fonctionnalité parait opportune pour l'expression architecturale, d'autant que ce mode permet aussi de définir à loisir un plan de dessin évoquant le projet *Mental Canvas* de Julie Dorsey (Dorsey, 2007) ou le projet Hyve-3D de Tomas Dorta et al (Dorta et al., 2016) et de spatialiser de dessins 2D. Tout en reconnaissant le grand intérêt de ces fonctionnalités, nous précisions qu'elles ne correspondent pas à notre recherche qui porte sur le dessin spatialisé. Leur dispositif d'esquisse en 3D repose sur la grande table tactile via une fenêtre ouverte spécialement pour traduire en 3D des dessins exécutés à plat puis les mettre en rapport avec les objets modélisés en 3D de la scène et obtenir des objets maillés en 3D. Ces fonctionnalités 3D sont intéressantes mais ne correspondent pas à ce que nous avons appelé dessin spatialisé.

5.1.3. Précédent de dessin spatialisé adaptable à notre étude

Présupposant que la réalité virtuelle est le domaine idoine des IHM pour mener cette expérimentation de dessin spatialisé, nous partons du principe qu'il vaut mieux bénéficier d'un outil développé dans un cadre scientifique afin de pouvoir l'adapter aux besoins de notre recherche. Un tel outil de dessin spatialisé brut, « dépouillé » de filtres et des fonctionnalités « commerciales » augmentera nos chances de pouvoir identifier les aspects et fonctionnalités essentiels. Cette opportunité nous a été donnée par les équipes MINT et PIRVI du CRIStAL, de l'université de Lille, qui ont précédemment développé un tel dispositif de dessin spatialisé

[553] « Les propriétés essentielles des outils - maniement rapide et intuitif, précision floue, qualité haptique et connexion directe à la conception - sont maintenues. En couplant directement les deux, ils peuvent travailler main dans la main, ce qui permet de travailler à plusieurs niveaux. La plate-forme interactive ouvre de nouvelles voies de conception dans le processus de conception architecturale »Trad.Gouezou

sur Occulus Rift® destiné à une artiste du Studio National des Arts Contemporains du Fresnoy, Pauline De Chalendar, qui souhaitait déployer sa pratique du dessin dans l'espace[554]. L'intérêt de cette approche est son dépouillement exigé par l'artiste qui a rendu l'outil de dessin « brut », dénué de « béquille » corrective, d'assistance ou d'autres biais. Nous pouvons ainsi bénéficier d'un terrain d'expérience vierge, propre à être adapté à notre expérience. Ce dépouillement nous permet de développer les adaptations nécessaires à notre recherche. Cet outil a depuis été baptisé VAirDraw[555] par l'auteur, Samuel Degrande, responsable du PIRVI, qui l'a codé en C++. La section 6.3.4 présente des informations complémentaires au sujet de l'adaptation de *VAirDRAW* aux besoins de notre étude.

[554] Cf. section 2.4.1
[555] http://cristal.univ-lille.fr//pirvi/projects/VAirDraw/

5.2. Restrictions : idéation et revue de projet

5.2.1. Dessin pour commenter, non pour modifier la géométrie

Dans l'hypothèse formulée ci-dessus d'une forme spatialisée de dessin d'esquisse comme possiblement adapté aux besoins du BIM, nous précisons que les couches de dessins produits dans les deux cas resteront distinctes de la modélisation BIM originale qui, elle, devra rester intacte. Il ne s'agit pas d'abimer la modélisation BIM dont les modifications doivent pouvoir continuer à se faire sur les logiciels ad hoc, dans les formats propriétaires. Là encore, les travaux de Kieferle et Woessner reliant un modèle Revit® à son pendant en RV sont pour nous une référence rare mais aussi une prouesse certaine. Très vraisemblablement, nous ne parviendrons pas à « ponter » de la sorte nos modélisations BIM et dessins RV, notamment en préservant la sémantique ; mais cette impossibilité n'est pas rédhibitoire. S'engager sur une technique de dessin libre qui impacterait les géométries de la modélisation BIM nous semblerait conduire à une recherche qui serait à la fois lourde et vaine, redoublant les fonctionnalités de modeleurs BIM qui existent déjà. Cette restriction permettra aussi d'éviter toute confusion entre représenter et modéliser, il est donc clair que la visée de cette recherche n'est pas d'ordre géométrique mais plutôt expressive. Eviter de modifier les géométries BIM introduit aussi une distance salutaire au regard de l'influence éventuelle des logiciels leaders et de leurs éditeurs, et d'opter pour une approche ouverte, dite « openBIM » telle que l'incarne le format de fichier BIM universel IFC (*Industry Foundation Classes*). Des pré-tests nous ont montré qu'un logiciel BIM, tel Revit® d'Autodesk, gère mal l'importation d'un format IFC pourtant exporté par lui. Ce défaut semble depuis corrigé par un plugin dédié. La dégradation de la modélisation observée nous avait confortés dans l'idée de séparer les couches de dessins que nous produirons et la modélisation BIM qui leur servira de support, restant intouchées dans son format propriétaire. Ainsi, si nous renvoyons finalement nos couches de dessins libres en format IFC ou .rvt[556] sur les modélisations originales, dans leur format propriétaire, cette dissociation nous prémunira de toute confusion «graphique» entre dessin et modélisation BIM: nous limitons les dessins que nous proposerons à du dessin libre supportant de l'annotation graphique, éventuellement commentée pour la revue de projet, ou l'exploration graphique. Nous savons qu'il existe des possibilités d'importer de l'IFC dans un Environnement Virtuel (EV), à l'instar de ce que propose la société *Tridify*[557] via le moteur de jeu vidéo multiplateformes *Unity*[558]. Faire « parler » la modélisation BIM permettrait l'examen critique du modèle. Le format d'annotation BCF[559] lié au format libre IFC, spécifiquement dédiés aux annotations consacrées aux problèmes et aux demandes de modifications pourrait être étudié pour tenter de dépasser « graphiquement » sa dimension descriptive. De ce point de vue, même les formats d'annotation consacrés aux problèmes et aux demandes de modification restent descriptifs, à l'instar du

[556] Qui est le format propriétaire de Revit©
[557] https://www.tridify.com/convert/
[558] https://www.youtube.com/watch?v=UUL9O9v6WXU
[559] BIM Collaboration Format

format BCF[560] tel qu'il peut être utilisé sur l'outil BIMsight® de Tekla. Mis au point en 2010 par les sociétés Tekla et Solibri, ce format est d'abord né avec le schéma initial XML, appelé « bcfXML v1 » destiné à encoder les messages contenant des sujets BIM (e.g. problèmes, propositions, requêtes adressées dans les modèles de donnés BIM). Cet engagement visait à soutenir le processus de travail collaboratif BIM en n'échangeant que le strict nécessaire et non pas la totalité de la modélisation entre les applications logicielles. Solibri a ensuite détaché une équipe au sein de *Building Smart* pour développer le format suivant « bcfXML v2 » facilitant les focalisations selon plusieurs points de vue et l'automatisation de la lecture de ces « *post-it* » bimables. L'outil BIMsight® de Tekla, par exemple, nous permettrait de réunir diverses critiques sur une plateforme (e.g. BIM Sync) dédiée au partage de maquettes numériques IFC et la centralisation des observations. Outre cette solution BCF, un format d'exportation plus simple comme le .dae (Collada) ou l'.obj pourra aider à passer, par exemple, de Revit® à l'immersion en casque et de retourner les couches de dessin spatialisé ensuite dans Revit®.

5.2.2. Ergonomie du dessin à la main du dessin immergé

Il est simplement difficile de dessiner longtemps debout, le bras levé. Nous en déduisons que dessiner debout, sans points d'appui, dans un contexte de RV pouvant de surcroît générer une cinétose[561] finit par poser problème. Ces paramètres seront pris en compte. Nous concevons que cette fatigue liée à une longue station verticale constitue déjà une limite au dessin spatialisé. Le dessin spatialisé est une activité particulièrement physique induisant une recherche d'économie d'énergie physiologique**.**

5.2.3. Phases et caractérisation du dessin spatialisé

[560]« Avant 2010, les utilisateurs finaux, qui souhaitaient échanger des problèmes, des propositions et des demandes de modification dans des modèles de données BIM, devaient toujours échanger l'ensemble du modèle BIM entier. Le récepteur devait comparer différentes versions du modèle BIM afin de filtrer les requêtes de l'expéditeur. En tant que moyen beaucoup plus efficace de soutenir cet effort, l'idée de développer un standard ouvert pour permettre la communication du processus BIM entre différents outils logiciels avait été proposée à buildingSMART. En 2010, Tekla et Solibri ont proposé un schéma initial XML, appelé "bcfXML v1", pour coder les messages contenant des sujets BIM (par exemple, problèmes, propositions, demandes de modification, ...) traités dans les modèles de données BIM. Cela impliquait de renforcer le degré de collaboration dans les flux de travail BIM en échangeant uniquement les rubriques simplifiées et non le modèle de données BIM entier entre les logiciels. "bcfXML v1" a été implémenté par plusieurs logiciels et des expériences précieuses ont pu être acquises en l'utilisant dans des projets basés sur le BIM. En 2013, sur la base de ces expériences, un groupe de travail dirigé par Solibri a été mis en place dans le groupe ISG (Implementer Support Group) de buildingSMART pour améliorer «bcfXML v1» dans certains domaines tels que la flexibilité liée aux aspects spécifiques aux projets. -sujets avec BIM-fragments attachés (petits composants d'un modèle BIM), attaché plusieurs points de vue, ... Enfin, après une intense consultation publique, "bcfXML v2" a été publié et adopté par buildingSMART en octobre 2014. En 2014, en tant que deuxième objectif majeur du groupe de travail BCF, le service web BCF "bcfAPI v1" a été introduit par iabi (Institute d'informatique appliquée au bâtiment). L'idée sous-jacente est d'échanger des sujets BCF non seulement manuellement ou par pièces jointes via des fichiers bcfXML, mais de manière transparente et automatisée via une API RESTful standardisée. "bcfAPI v1" a actuellement le statut de version 1 et la version finale est prévue pour février 2015 ». In BUILDING SMART, 2016. URL : http://www.buildingsmart-tech.org. Consulté le 10 juin 2016. Trad.Gouezou

[561] Selon le site internet spécialisé en réalité virtuelle , la cinétose commune au mal des transports ou en immersion virtuelle est « causée par la discordance entre la perception visuelle et l'oreille interne (système vestibulaire, NDLR). Il est cependant possible d'éviter ce problème à l'aide de dispositifs qui isolent davantage l'utilisateur. Citons comme exemple le CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) qui est un cube ouvert (3 à 5 faces) sur lequel est projeté un environnement virtuel. L'utilisateur est équipé de lunettes qui sont trackées par des caméras infrarouges, ce qui permet de recalculer son point de vue en temps réel et de ne plus ressentir ce trouble. » in (44screens, 2013)

Nous distinguons deux phases logiques pour réintroduire le dessin à la main en contexte « BIM » par les moyens de la RV. La première serait l'idéation « générative » qui est liée à l'analyse du contexte et qui doit enclencher le processus de conception et donner les premières lignes directrices du projet ; cette phase requiert de disposer au moins d'un contenu 3D figurant le contexte. C'est cette phase générative que nous étudierons car elle représente le commencement du projet, partir de « zéro » permettra d'évacuer tout biais projectuel préalable et permettra de comparer nos résultats à ceux de l'expérience menée par Goldschmidt (1991) à laquelle nous comptons nous référer[562]. La seconde phase logique serait l'idéation « itérative » de correction ou de modification d'un contenu de projet justifiant l'affinement et la reprise constants des idées précédentes, mode « essai-erreur » qui est très caractéristique de la conception architecturale dont l'itération fondamentale serait de conjecturer, d'analyser, de modifier. Ces boucles itératives intègrent l'idée de révision (on reconsidère les choix précédents), de modification (on change des éléments du projet). Cette deuxième phase sera intéressante à étudier ultérieurement dans une approche expérimentale de revue de projet. Dans les deux cas, le dessin spatialisé est à considérer comme un *medium* contradictoire et complémentaire de la modélisation BIM, il doit soutenir le dialogue avec la situation de conception (Schön, 1983) (Schön, 1992). Pour des raisons de clarté, la « couche » de dessin spatialisé reste dissociée du modèle BIM, nous pourrons tenter de proposer une caractérisation de ce dessin spatialisé pour le BIM, et tenter de décrire ses performances et, le cas échéant, de catégoriser les documents résultants.

[562] Cf sections 2.2.2 et 2.2.3 et section suivante 6

5.3. Hypothèse de travail

Nous avons supposé qu'en se substituant à la représentation architecturale, la modélisation BIM a tari la dialectique liant l'architecte à la situation de conception. Sans modalité contestataire comme le dessin d'esquisse, la modélisation BIM serait insuffisamment projectuelle. Réfutable, cette hypothèse nous aura permis de reconsidérer plus profondément ce glissement du principe de la représentation vers celui de la modélisation telle qu'elle semble être opérée par le BIM. Mais la modélisation BIM et le dessin d'esquisse sont-ils intrinsèquement antinomiques ? Dans la négative, une modalité de dessin « bimable » offrirait-t-elle une forme comparable de réciprocité dialectique ? Confortés par au moins une cinquantaine de recherches[563] depuis 1960 à partir du *Boeing Man* de William Fetter ou du *Sketchpad* de Sutherland [564] dans le domaine de l'informatique graphique et de l'IHM[565], nous formons l'hypothèse qu'il pourrait tout à fait exister au moins un mode « bimable » de dessin d'esquisse. Par « bimable » nous entendons une forme de dessin d'esquisse libre portable à la modélisation BIM sans forcément chercher ni à interagir avec la base de données du modèle ni de transformer les géométries. Nous considérons que l'objet de notre recherche n'est pas de refaire par l'IHM ce que font les logiciels de modélisation BIM. Le postulat n'est pas de viser l'interopérabilité mais, presque son contraire, une forme d'expression plus dissensuelle et contradictoire à la modélisation BIM. Si, comme Goldschmidt, nous considérons la réciprocité dialectique comme une caractéristique majeure du dessin d'esquisse, nous focaliserons notre étude sur ce critère de réciprocité « dialectique ». Nous pourrons ainsi voir si la modalité de dessin que nous utiliserons en RV, que nous avons qualifiée de dessin spatialisé, s'avère ou non adaptée au contexte de la modélisation BIM. Ce *sketching* spatialisé présenterait-il des caractéristiques « dialectiques » ? Serait-il comparable à d'autres modalités d'esquisse ? Ces questions devraient trouver des éléments de réponse dans une analyse comparative entre différentes modalités d'esquisse qu'il reste à déterminer pour montrer quel serait leur niveau de dialectisme. Si le dessin spatialisé s'avère être un mode d'expression suffisamment projectuel[566] et « bimable », nous tâcherons d'expliquer pourquoi et de le caractériser. Sinon, il sera considéré comme une piste de recherche infructueuse. Nous avons vu que ce critère du dialectisme avait déjà été évalué grâce à un système annotatif [567] mis au point par Goldschmidt pour son étude « *The dialectics* of *sketching* »[568] (1991). Nous allons donc voir s'il est possible d'évaluer le niveau de réciprocité dialectique de différentes modalités d'esquisses sur cette base, en tentant de trouver un mode « bimable » d'esquisse : la Main comme medium consacré s'impose, notamment pour voir si nos observations convergent avec celles de Goldschmidt et pour consolider le protocole que

[563] Cf. tableaux en annexe de la section 12.1 à la section 12.5
[564] Cf. sections 2.3
[565] Interaction Homme Machine
[566] Par projectuel nous entendons propre au projet, c'est-à-dire, dans le cas présent suffisamment critique envers le modèle BIM pour que la notion de projet paraisse restaurée, permettant de revenir à une relation triadique entre *sujet objet* et *projet*.
[567] Cf. section 2.2.3
[568] Cf. section 2.2.2

nous allons proposer. Le DAO s'impose aussi car il fait le lien, depuis les années 80, entre les habitudes de travail par représentation et l'informatique. La CAO-BIM ou modélisation BIM s'impose aussi parce que son implémentation actuelle est spectaculaire et prometteuse, et assez peu contestée. Nous ne préjugeons pas pour autant de son inadéquation à la conception créative, retenant la leçon nuancée de (Jonson, 2005, p. 623)[569]. La dernière modalité d'esquisse est une proposition consistant à recourir à la RV pour se placer dans l'espace même de la modélisation BIM en offrant le dessin spatialisé comme mode d'expression « dissensuel ». Pourrons-nous observer une telle dialectique de l'esquisse dans ces quatre modalités en reproduisant l'expérience de Goldschmidt ?

[569] Cf.section 4.2.3

6. ETUDE COMPARATIVE

Telle que nous l'avons commentée dans la section 2.2.2, la dialectique du dessin d'esquisse de Goldschmidt suppose l'alternance entre deux points de vue complémentaires et contradictoires, voir Que qui serait spéculatif et propositionnel, puis voir Comme qui serait analytique et décisionnel. Nous proposerons ici de reprendre le tableau annotatif [570] de Goldschmidt servant à « monitorer » les actes de conception lors d'esquisses à la main en décomptant les arguments comme ou que, et de l'utiliser pour évaluer différemment les modes informatisés d'esquisse qui sont le dessin d'esquisse à la Main, en DAO, en CAO-BIM et en RV. Nous présentons ici l'argumentaire et la méthodologie avant d'en exposer les résultats dans le chapitre suivant. Cette étude pourra alimenter la réflexion portant sur un démonstrateur technologique ultérieur.

6.1. Précédents méthodologiques comparables

Du point de vue d'un protocole basé sur un précèdent, nous évoquons l'étude de Kavakli et Gero (Kavakli and Gero, 2001) adapté de l'étude précédente de Suwa et Tversky (Suwa and Tversky, 1997b). Du point de vue du dessin spatialisé, il existe nombre d'expériences menées sur les pratiques du dessin d'esquisse en EV, comme nous l'avons vu dans la section 2.3. Il en existe moins dans le domaine du dessin spatialisé (Cf. section 2.4); certaines expériences en EV tendent à spatialiser les dessins 2D dans l'espace du modèle (Cf. section 2.4.1), d'autres tendent à explorer le dessin spatialisé orienté modélisation 3D (Cf. section 2.4.2), certaines expériences commerciales de dessin spatialisé en EV supportent l'expressivité créative en général (Cf. section 2.4.3), d'autres expériences, plus rares, intègrent le dessin spatialisé à la modélisation BIM (Cf. section 2.4.4). Du point de vue de l'évaluation de la perception du dessin spatialisé, Stéphane Safin, Tomas Dorta et leur équipe ont proposé *Design Flow Method*, une version améliorée de leur précédente méthode exhaustive (Dorta, 2008) permettant de monitorer les états émotionnels et l'engagement des concepteurs sur des critères établis préalablement[571] :

> « This paper presents a new method to measure designers' experience during ideation, by using the technique of self-observation instrumented with a device and an original software. Based on the previous concept of Design Flow and the experience fluctuation model, the proposed procedure asks participants to rate their perceived challenge and skills at each moment of their ideation session while watching the video recording. The method aims at increasing granularity of Design Flow and reducing time of interviews, while retaining the ability to analyse the ideation activity as a whole, not just selected excerpts » (Safin et al., 2016, p. 1) [572]

[570] Cf. section 2.2.3

[571] « Améliorer le modèle à quatre quadrants de Csikszentmihalyi et LeFevre (1989) en fournissant un système de classification plus réaliste de l'expérience subjective (Moneta, 2012). Il divise le monde de l'expérience en huit états principaux (excitation, flux, contrôle, relaxation, ennui, apathie, inquiétude, anxiété) en fonction des niveaux de défis perçus et des compétences perçues au cours d'une activité spécifique » in (Safin et al., 2016, p. 28)Trad.Gouezou

[572] « ce papier présente une nouvelle méthode pour mesurer l'expérience des concepteurs lors de l'idéation, en utilisant la technique de l'auto-observation instrumentée avec un appareil et un logiciel original. Sur la base du concept précédent de *Design Flow* et du modèle de fluctuation de l'expérience, la procédure proposée demande aux participants d'évaluer leur défi et leurs compétences perçus à chaque moment de leur session d'idéation en regardant l'enregistrement vidéo » Trad.Gouezou

Mêlant immersion en RV et *sketching*, cette méthode repose sur un principe d'auto-confrontation multiple permis par un boitier enregistrant les états émotionnels, les participants devant ensuite recoder eux même leurs émotions lors de visionnage vidéo de la séance ; ceci permettant de corréler et consolider les résultats obtenus. Cette étude quantitative, très complète, nous semble difficile à intégrer à notre démarche, à la fois parce que nous ne disposons pas des moyens requis, parce qu'elle nous semble complexe, mais aussi éloignée de nos objectifs. Nous souhaitons monitorer des états mentaux de conception variés mais rapportables à deux états logiques de proposition d'idée ou de correction d'idée. Plus simple, l'approche de Goldschmidt nous paraît plus adaptée pour appréhender sans détour le dialogue critique qui caractérise la conception architecturale. Rahimian et Ibrahim (2011) ont mené une étude avec cinq paires d'étudiants en architecture de cinquième année lors de protocoles de trois heures comparant la modalité classique de conception à la main et une modalité usant de dessin spatialisé via un bras articulé haptique à six profondeurs de champ (*6DOF in SensAble haptic devices*) face à un écran ordinaire (Rahimian and Ibrahim, 2011). Si la dénomination de dessin spatialisé est adaptée, elle diffère du dessin spatialisé en RV (e.g *Tilt Brush* ou *VAIrDraw*), ce qui limite la comparaison avec le protocole que nous tentons de concevoir en RV. Néanmoins, nous relevons que les auteurs s'appuient sur des méthodes et protocoles éprouvés précédemment, notamment pour décompter des actions selon leur catégorisation élaborée dans des études précédentes : un protocole peut reprendre tout ou partie d'un précédent. Pour résumer, disons que les actions physiques, perceptuelles, fonctionnelles, ou conceptuelles (Suwa et al., 1998) (Suwa et al., 2001) et les actions collaboratives (Kim and Maher, 2008) ne concerneraient pas notre étude focalisée sur l'idéation individuelle experte. Un grain plus fin caractérise ces actions en une dizaine de sous-actions. Les résultats des quatre premiers critères montrent une légère augmentation de la quantité d'action en dessin spatialisé. L'augmentation des actions perceptuelles entrainerait celle de découvertes inattendues (Suwa et al., 2001). L'augmentation des actions fonctionnelles et conceptuelles entrainerait le nombre d'inventions situationnelles et co-évolutionnaires qui serait un aspect important de la problématisation (*problem finding*) (Suwa et al., 2001) et pourrait conduire à une augmentation de l'espace de solution du projet. Nous préfèrerons le terme de Goel de structuration de problème (*problem structuring*) (Goël, 1995, p. 125) supposant que le problème n'est pas donné mais travaillé. Visant l'établissement du niveau de dialectisme, notre étude s'en tient donc aux principes de l'expérience de Goldschmidt[573]. S'inspirant du philosophe et logicien Ludwig Wittgenstein et des travaux du psychologue spécialiste de l'Art Rudolph Arnheim, Goldschmidt cherche à déterminer la nature des arguments invoqués oralement par les architectes pour prendre des décisions de conception, selon quel point de vue l'architecte prend-t-il telle décision en tant que créateur ou en tant qu'évaluateur ? Elle relève les arguments Comme ou Que au moyen d'une méthode d'annotation[574] spécifique qu'elle met au point et qui est destinée à enregistrer les arguments du concepteur tandis qu'il dessine. Elle révèle ainsi les dimensions dialectiques du

[573] Cf. sections 2.2.2 et 2.2.3
[574] Cf.Figure 6

dessin d'architecte qui tente de « capturer » ses images mentales pour avoir, selon Schön, une « conversation avec la situation ». La réciprocité dialectique qu'offre le dessin d'esquisse consiste, selon Goldschmidt, en un *pattern* de séquences d'arguments de conception alternant deux modes de raisonnement, deux points de vue : voir Comme et voir Que, qui traduiraient le double état du concepteur polarisé entre ses conjectures et ses analyses (Goldschmidt, 1991a, p. 138). L'alternance rapide des arguments Comme et Que forme des boucles caractéristiques que Goldschmidt appelle la dialectique de l'esquisse. Les tâches de conception apparaissent comme une pratique réflexive polarisée entre le calcul et la délibération, l'intention et la découverte, l'idéation et l'analyse ; voir Comme relèverait de l'imagination et de la proposition, ou voir Que relèverait de l'analyse. Alternativement, un argument exploratoire mêlant interprétation et intention entraine un argument factuel mêlant observation, analyse, et constat ; et réciproquement. Ces « micro-boucles » marquent la progression itérative et incrémentale des décisions de conception. Elles peuvent évoquer le concept de co-évolution où la résolution et la structuration de problème se répondent (Maher et al., 1996, p. 1) [575].

[575] Cf. section 1.2.1

6.2. Précédent de *VAirDraw* et Séance préparatoire du dessin spatialisé

Une séance préparatoire « libre » a été menée le 18 juillet 2017 dans les locaux de l'agence d'architecture ANMA, à Paris. Elle avait pour objet d'obtenir les premières remarques d'architectes concernant l'ergonomie et les fonctionnalités de *VAirDraw*, afin de voir quelles devraient en être les adaptations nécessaires. Le programme de la séance consistait à produire un dessin d'esquisse de type revue de projet sur la base d'un projet de tour de grande hauteur sur le site de La Défense, dans les Hauts-de-Seine. De façon générale, ce test a validé les modalités de zoom et de déplacement, ainsi que l'intérêt du dessin et particulièrement de certaines fonctionnalités de dessin, comme le dessin rectiligne ou en segment de droite et la fonctionnalité de mesure qui y est associée. L'enseignement majeur de ce test fut la prégnance de l'effet de l'immersion dans une scène 3D. Les fonctionnalités de dessin spatialisé ont semblé convaincre, ce qui confirmerait les conclusions de l'étude de Schneider et al (2018) qui ont établi que l'acuité des concepteurs est augmentée par l'immersion en RV parce qu'elle fournit des points de vue stimulants qui aident la détection de problèmes. Les témoignages recueillis lors de cette étude disaient que l'immersion en RV permet d'augmenter la perception du projet :

> « "*understand the personal feelings of the users when they were in* [their] *design*" and to "*see failures that go unnoticed, to see how users perceive [their] design and to understand how they circulate in the building*" » (Schneider et al., 2018, p. 106) [576]



Figure 44. séance de test de *VRairDraw* par Nicolas Michelin au sein d'ANMA à Paris, aidée des équipes Mint et Pirvi, CRIStAL, Université de Lille.18/07/2017. Crédit photo Vincent Gouezou

[576] « comprendre les sentiments personnels des utilisateurs lorsqu'ils étaient dans [leur] conception " et " voir les incohérences qui passent inaperçues, voir comment les utilisateurs perçoivent [leur] conception et comprendre comment ils circulent dans le bâtiment » Trad.Gouezou

Dans l'étude Schneider et al (2018) comme dans nos tests, l'acquisition de la maîtrise du dessin spatialisé et de ses outils a semblé très rapide, permettant une liberté d'expressivité graphique suffisante pour la séance de revue de projet. Dans l'ensemble, l'ergonomie du dessin spatialisé et les fonctionnalités proposées ont semblé relativement probantes et inspirantes. Suffisamment pour utiliser cette base pour élaborer un protocole d'évaluation de performances de dessin spatialisé en RV comparée à d'autres modalités plus classiques d'esquisse. Lors de nos tests, il a été demandé de pouvoir annuler plusieurs actions plutôt qu'une seule, et de pouvoir copier et coller des groupes de traits ; demandes qui seront répétées lors du protocole de manipulations, ce qui a donc pu être développé ensuite.

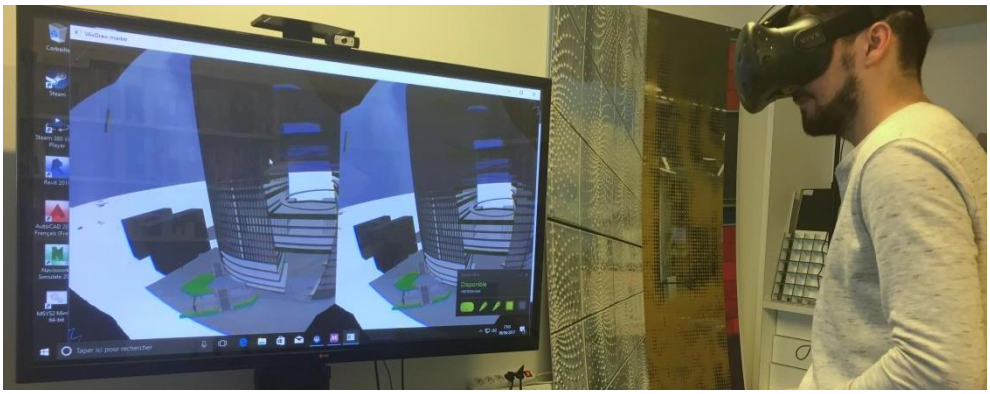


Figure 45 test de revue d'un projet de la tour de la Défense. Crédit photo Vincent Gouezou

Un second test a été effectué sur la base d'un plan masse tiré d'Autocad®, représentant à plat un site industriel de grande taille à requalifier. Conformément à nos attentes, la platitude du support n'a pas suscité d'inspiration franche, ou a été carrément rédhibitoire. Cet échec nous a conforté dans l'idée de privilégier les supports et contextes en modélisation 3D : un contenu contextuel en 3D favorise la qualité de l'immersion ou du sentiment de présence.



Figure 46 test non-concluant de *VAirDraw* sur plan. Crédit photo Vincent Gouezou

Nous avions vu[577] l'argument de Schnabel et al (2007) jugeant les scènes constituées de géométries abstraites tirées de logiciels de CAO comme pauvres sémantiquement (Schnabel et al., 2007, p. 12), par contraste avec ce qu'ils appellent la réalité virtualisée (*Virtualized Reality*), basée sur du contenu réaliste pour le virtualiser et produire un contenu 3D plus réaliste et inspirant, permettant de meilleures expériences immersives. Sur la base d'arguments comparables, nous pourrons produire et utiliser des modèles photogrammétriques[578].

[577] Cf. section 2.3.3
[578] Cf. Figure 59



Figure 63

6.3. Méthode DialecBIM

Cette section reprend les éléments présentés en mai 2018 lors du colloque EDUBIM18 à Clermont-Ferrand dans un article nommé DialecBIM (Gouezou, 2018) préfigurant la présente étude. La question de cet article portait sur l'étude des potentialités du dessin spatialisé face à la modélisation BIM, notamment sur ses aptitudes à supporter une réciprocité dialectique telle que celle décrite par Goldschmidt.

6.3.1. Comparaison de quatre différents modes d'esquisse

Nous adaptons la méthode mise au point par Goldschmidt (1991) pour monitorer des séances de conception architecturale afin d'établir le degré de dialectisme du dessin d'esquisse à la main (ces séances de conception orales, organisées au M.I.T, étaient nommées *Thinking aloud*). Par rapport à Goldschmidt, notre contribution consiste à compter les arguments architecturaux en tenant compte des qualités (graphique, graphique et langagière, purement langagière), ce qui conduit à considérer les quantités et qualités d'arguments, ainsi que les changements de points de vue entre voir Comme et voir Que. L'adaptation de cette même grille annotative permettra de monitorer quatre modalités d'esquisse en indiquer le degré de dialectisme de façon comparable. DialecBIM est donc une méthode d'évaluation du dialectisme de tout type d'esquisses, et particulièrement ici d'esquisse BIMable. Elle permet d'évaluer respectivement le niveau de dialectisme de l'esquisse exécutée à la Main, ou en DAO (e.g sur Autocad®), en CAO-BIM (e.g. sur Revit®), et en RV au moyen du dessin spatialisé. Les résultats de ces comparaisons diront ce qui, en termes d'esquisse, est dialectique ou pas et, le cas échéant, d'en évaluer le degré. Garder la même grille annotative[579] permettra de soutenir la comparaison avec l'étude de Goldschmidt, et de comparer les modalités entre elles. Etant donné notre argumentaire, cette étude comparative élargie s'adresse surtout aux problèmes soulevés par le BIM ; et pourra conduire à des investigations plus avancées concernant les esquisses BIMables, produites en CAO-BIM ou en RV-BIM par les moyens du dessin spatialisé et dans l'espace 3D de la modélisation. Nous devrons adapter la méthodologie de Goldschmidt pour au moins deux raisons. La première provient d'une critique d'un des sujets de 1991, Martin, arguant que l'abstraction de l'épure fournie ne constituait pas une base suffisamment contextualisée et spécifiée pour pouvoir travailler :

> «Martin, […] was uneasy with the task from the beginning. He had two objections: First, he found the library footprint quite appalling. "I would come up with another plan, that's for sure," he said. Second, he thought it impossible to work without a specific site. He explained: "... I feel powerless, because I think architecture is the organization of space in three dimensions, but related to a location, to a situation. ... I have to be in confrontation with a site, with a situation... If I don't know the orientation, it's very difficult... " He finally agreed 'to play the game': "I would not make a plan like that, but once it exists, I accept to organize the thing... ". » (Goldschmidt, 1991a, p. 132.133) [580]

[579] Cf. section 6.3.3

[580] « Martin […] était mal à l'aise avec la tâche de conception dès le départ. Il avait deux objections : d'abord il trouvait que l'épure fournie était assez " épouvantable ". " Je m'en sortirais mieux avec un autre plan, c'est sûr ", dit-il.

En conséquence de ce besoin exprimé régulièrement par les architectes de pouvoir disposer d'un contexte particulier stimulant, nous avons cherché à contextualiser les quatre exercices de manipulation avec du contenu original tout en évitant une trop grande disparité entre ces quatre contenus. Pour cela, nous nous sommes tournés vers l'association Europan France pour demander le droit d'utiliser les documents d'analyse de quatre sites français, en format court ou long. L'égale qualité des documents d'Europan nous permet ainsi de disposer de contenus de qualité, synthétiques et contextualisés, à la fois différents et exempts de disparités qualitatives, garantissant de pouvoir les comparer. Arrivés à ce stade, nous avons été confrontés à une autre difficulté liée au temps : comment optimiser le temps passé avec nos sujets sachant qu'ils devraient se livrer à cinq manipulations au lieu d'une seule en 1991 qui durait en moyenne deux heures ? Il nous paraissait impossible de demander à des sujets ou participants, par ailleurs professionnels et affairés, de se livrer à huit heures de manipulations consécutives. Nous avons alors décidé de réduire les deux heures à soixante minutes décomposées ainsi : les dix premières minutes serviront à prendre connaissance des documents d'Europan14 pour chaque site - le document résumé ou d'autres documents plus fouillés - quarante minutes de manipulations qui constituent le cœur du protocole qui sont suivies de cinq minutes de questionnaire ; les cinq minutes restantes servent de pause et de battement avant la modalité suivante pour un total de soixante minutes. Le test de ce protocole effectué avec le participant 0 (P0) a validé cette décision (Cf. les sections 6.3.8 à 6.3.11). Goldschmidt elle-même constatait des disparités importantes dans l'état d'avancement de ses trois sujets disposant de deux heures sans que cela n'empêche de les comparer. Un problème supplémentaire se pose ensuite concernant la grande échelle des sites Europan. Ce à quoi nous pallierons avec un programme de taille moyenne (<5000m2) pour apporter une focale supplémentaire, plus circonscrite et architecturale. Par souci de maintenir un certain niveau de comparaison, les sujets travailleront sur le même site associé au même programme architectural pour chaque modalité d'esquisse éprouvée.

MODALITE D'ESQUISSE	SITES EUROPAN14	PROGRAMME SUPPLEMENTAIRE	SURFACE m2
Main	Angers	Bibliothèque	2000
DAO	Aurillac	Groupe scolaire primaire	3000
CAO-BIM	Bègles	Logements	5000
Main sur table tactile	Besançon	Piscine publique	2000
R.V et dessin spatialisé	Grigny Ris-Orangis	Bureaux	5000

Figure 47 Tableau programmatique pour chaque modalité d'esquisse

Concernant les cohortes exécutant les tâches de conception monitorées, nous devons trouver des sujets expérimentés et aptes à toutes les tâches, du dessin à la main, à la DAO, à la CAO BIM, et au dessin spatialisé ; en conséquence de quoi la rareté de ces profils polyvalents à réduit

Ensuite, il considéra qu'il lui était impossible de travailler sans disposer d'un site spécifique, expliquant " je me sens impuissant car je pense que l'architecture, c'est l'organisation de l'espace en trois dimensions mais en lien avec un site, avec une situation…si je ne connais pas l'orientation, c'est très difficile ". Il a finalement consenti à "jouer le jeu": "je ne ferais pas un plan comme celui-ci mais puisqu'il est là, j'accepte d'organiser la chose… » Trad.Gouezou.

au nombre de sept les sujets[581], du P1 au P7, logiquement presque tous quadragénaires. Si ce chiffre de sept semble faible, rappelons que l'étude de 1991 portait sur trois sujets. Un participant « testeur », étudiant polyvalent, est impliqué dans les tests préalables de validation du protocole en tant que P0. Les concepteurs novices manquent d'expérience et de connaissance procédurale (*procedural knowledge*) (Simon, 1992) (Quinet, 1994, p. 145) correspondant aux méthodes standards acquises et applicables pour résoudre des problèmes typiques et habituels (Curry, 2014, p. 634) (McCormick, 1997). Pour éviter tout biais (e.g. effet d'expérience, d'apprentissage) nous veillerons à alterner l'ordre de passage de ces quatre modalités (Cf. 4ème colonne du tableau Figure 119 de la section 7.5). Il sera délicat de parvenir à une démonstration aboutissant à la production d'un fait scientifique établi au sens où l'entend Stephen Gould[582], mais nous visons un résultat suffisamment significatif pour obtenir des tendances claires.

6.3.2. Argument et commutabilité comme critères du Dialectisme

Cette section reprend des éléments de la section 2.2.2 et 2.2.3 où nous avons vu que Goldschmidt s'est attachée à observer la production d'arguments architecturaux propositionnels - Comme - ou analytiques - Que - et a observé une certaine alternance entre ces deux types d'arguments sans caractérisation supplémentaire. D'abord, le dialectisme tel que l'entend Goldschmidt est essentiellement consubstantiel à la quantité d'arguments architecturaux produits et qui en est l'indicateur majeur. Arnheim avait défini l'argument ainsi:

> « Arguments are the labors of the designer's mind, the explorations of the task and the reasoning about it. Moves are the physical motions engendered by the arguments. Moves are what psychologists call the behavioral aspects of human activity. The architect's moves produce the drawings and they supply essential new food for the arguments » (Arnheim, 1993, p. 15.16) [583]

L'argument apparait comme le grain le plus fin identifiable et décomptable qui peut, par regroupement avec d'autres arguments, former un ensemble cohérent et sémantisé d'arguments formant ce que Goldschmidt appelle un mouvement, qu'Arnheim décrit ici. Nous devrons préciser que les arguments semblent être le critère majeur du dialectisme, le grain auquel on compte. Goldschmidt décrit le movement (*Move*) :

> «Moves are the basic coherent operations detectable in designing, and arguments are the smallest sensible statements which go into the making of moves. Both move and argument are idiosyncratic terms. The notion of a move has acquired somewhat different meanings in different design studies (Habraken, 1985). In the present study, a design move is defined as an act of reasoning which presents a coherent proposition pertaining to an entity that is being designed. Argument stands for a rational utterance made by a designer, and bears on the designed entity or on an aspect thereof. The notion of moves and arguments is crucial to this study, and it is

[581] Compte non tenu du P0 (participant zero), testeur du protocole.
[582] « En science, « *fait* » ne peut signifier que « confirmé à un degré tel qu'il serait pervers de refuser d'y souscrire provisoirement » in (Gould, 1991, p. 299)
[583] « Les arguments sont les travaux de l'esprit du concepteur, les explorations de la tâche et le raisonnement à ce sujet. Les mouvements sont les déplacements physiques engendrés par les arguments. Les mouvements sont ce que les psychologues appellent les aspects comportementaux de l'activité humaine. Les mouvements de l'architecte produisent les dessins et fournissent de nouveaux éléments essentiels pour les arguments. »Trad.Gouezou

therefore important to clarify it. This can be done through an example. » (Goldschmidt, 1994, p. 125)[584]

Pour Goldschmidt le mouvement de conception est défini comme un acte de raisonnement qui présente une proposition cohérente concernant une entité en cours de conception, il nous apparait comme déductif et intentionnel mais aussi abstrait. Goldschmidt utilise plus loin le terme de « proposition » architecturale (Goldschmidt, 1991b, p. 126) pour désigner un mouvement architectural et confirme qu'il est constitué d'au moins un argument ou de l'addition d'arguments. L'argument représente donc un fragment élémentaire, rationnel, circonscrit et dénombrable, fait par un concepteur pour réaliser une idée architecturale ou mouvement. L'argument apparait ainsi plus tangible et plus facile à dénombrer. Nous avons proposé aux participants de définir l'argument comme un ensemble cohérent et irréductible d'idées ou de faits motivant la délibération du concepteur. Nous avons proposé de considérer qu'un argument Comme correspondrait à un argument propositionnel, créatif, (y associant les termes suivants : « exploration : Imaginer, idéer, spéculer, explorer. Intuition. Ouverture »). Par opposition, nous avons proposé de considérer l'argument Que comme correspondant à un argument analytique, un constat (y associant les termes suivants : « effectuation : Observer, analyser, constater. Perspicacité. Fermeture ».) (Cf. section 2.2.3 et Figure 6). Nous aurons pu constater que cette distinction a semblé convaincante et suffisante au moment du test puis lors des passassions. A titre d'exemple, nous avons vu, dans la section 3.3.4.2, un cas d'étude basé sur un projet de siège bancaire à Bordeaux mené par Michel Delplace d'ANMA en 2017. Nous y avons exposé qu'une succession de deux arguments voir que, analysant respectivement l'implantation imposée par la protection d'une zone humide et le tramage d'usage dans la conception de bureaux dotés de parking souterrains avaient précédés divers arguments propositionnels voir Comme consistant, par exemple, à moduler des sous-volumes par double niveaux sur une largeur de trame, puis à tenter des variantes d'organisation de ces sous-volumes selon diverses modalités de gradation. Dans ce cas, des arguments posent les contraintes qui donne un espace de solutions ou d'expérimentation. Un autre exemple illustrant la notion d'argument provient de nos passassions sur la modalité DAO sur le site de d'Aurillac que nous détaillerons ensuite. Observant des photos prises le long de la rivière Jordanne, le participant 4 (P4) prend tardivement conscience de l'emprise et surtout de la hauteur d'un immeuble de logements en R+6. Voyant que cet immeuble « verrouille » le site, il en décide la destruction au profit d'un immeuble de hauteur normale : un argument Que précède alors un argument Comme. L'argument suivant sera encore Comme, consistant à créer une liaison visuelle et

[584] « Les mouvements sont les opérations cohérentes de base détectables dans la conception, et les arguments sont les plus petits énoncés sensés qui entrent dans la réalisation des déplacements. Le mouvement et l'argument sont des termes idiosyncrasiques. La notion de mouvement a acquis une signification quelque peu différente dans différentes études de conception (Habraken, 1985). Dans la présente étude, un mouvement de conception est défini comme un acte de raisonnement qui présente une proposition cohérente concernant une entité en cours de conception. L'argument représente une déclaration rationnelle faite par un concepteur, et porte sur l'entité conçue ou sur un aspect de celle-ci. La notion de mouvements et d'arguments est cruciale pour cette étude, et il est donc important de la clarifier. » Trad.Gouezou

piétonnière forte entre les deux rives avec une requalification des sols (voir Comme une continuité de surface) supposant la suppression des parkings en gravier (voir Que), en direction de la préfecture (voir Que). Selon Goldschmidt, cet enchainement des arguments Comme et Que se répondant l'un l'autre fonderait les dialectismes de l'esquisse (*Dialectics of sketching*):

> « Half of the arguments […] qualify as 'seeing as' arguments, the other half are 'seeing that' arguments, and one (argument no. 5) is a 'seeing as/that' argument (a joint coding, assigned when it was impossible to take the two modalities apart). For the most part, 'as' arguments are preceded and followed by 'that' arguments and vice versa. All 'as' arguments, with a single exception, were made while sketching. 'That' arguments were made both while sketching and while pausing to contemplate on-line sketches. » (Goldschmidt, 1991a, p. 138)[585]

Goldschmidt ne décompte pas de façon exhaustive les arguments en faisant des totaux et sous-totaux de telle ou telle qualité d'argument. Elle considère, d'après les grilles annotatives remplies, que la moitié des arguments sont voir Comme qui sont presque exclusivement exprimés graphiquement tandis que l'autre moitié est constituée d'arguments voir Que exprimés « à la fois » graphiquement et oralement. Nous convenons que cette alternance d'arguments Comme et Que est constitutive du dialectisme, et qu'une suite d'arguments univoques paraîtrait absurde. Une certaine commutation entre arguments Comme et Que doit être observable pour pouvoir confirmer le dialectisme d'une modalité. Cependant Goldschmidt ne dit pas comment identifier ni caractériser cette alternance d'arguments Comme et Que, par exemple par la détection d'un motif - au sens *pattern* - donné. Nous supposons que ce critère d'alternance pourrait être affiné, nous proposerons de la baptiser « Commutabilité ». A ce stade, l'analyse dira si d'autres critères supplémentaires émergent de façon significative.

6.3.3. Adaptation de la grille annotative de Goldschmidt 1991

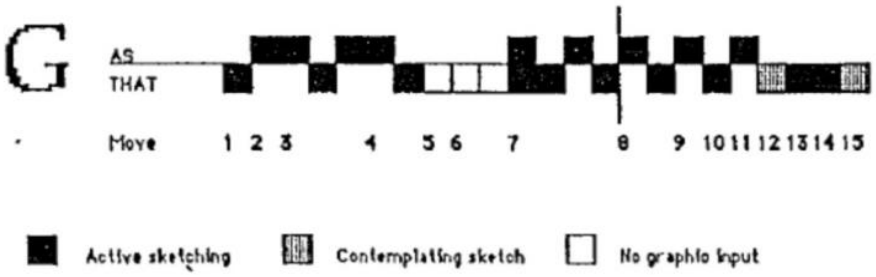


Figure 48 Extrait du diagramme annotatif de Goldschmidt (Goldschmidt, 1991a, p. 137) servant à monitorer une séance de conception architecturale selon la nature Comme ou Que d'un argument architectural.

Nous proposons d'adapter la grille de Goldschmidt essentiellement par l'adjonction de comptage d'arguments selon leur qualité et par des indicateurs détaillés ci-dessous. L'objectif

[585] « La moitié des arguments […] qualifie comme des arguments « voir comme », l'autre moitié sont des arguments « voir que », et un argument est les deux arguments à la fois, « voir comme » et « voir que » […]. Pour la plupart, les arguments « comme » sont précédés et suivis par des arguments « que » et vice versa. Tous les arguments « comme », à une exception, sont fait à l'aide du dessin d'esquisse. Les arguments « que » étaient fait à la fois de dessin d'esquisse et de commentaires oraux en contemplant le dessin. » Trad.Gouezou

de cette étude est l'évaluation du niveau de dialectisme d'une modalité d'esquisse donnée. A ce titre, le critère de la quantité d'arguments s'impose logiquement et sur le principe simple qu'une modalité d'esquisse offrant un haut niveau de dialectisme présente une plus grande quantité d'arguments, et inversement un faible niveau d'argument traduit un faible niveau de dialectisme. La case N19 surlignée en jaune (Cf. Figure 49 en ***K***) présente ce critère du nombre total d'arguments produits lors d'une passation. Le critère corolaire traduirait l'alternance de points de vue Comme et Que que nous nommons commutabilité et qui rapporte les changements observés entre Que et Comme au nombre maximal de commutations possibles. La commutabilité est exprimée en pourcentage en case K19 surlignée en jaune (Cf. Figure 49 en ***J***). Ces deux critères majeurs de dialectisme s'expriment donc dans ces cases jaunes. Les indicateurs exprimant quantités et valeurs sont marqués de ***A*** à ***P*** sur la Figure 49 pour être détaillés ci-après :

- ***A*** Nom du participant et modalité d'esquisse
- ***B*** Dissociation des arguments Comme et Que
- ***C*** Grille annotative : Monitoring des arguments Comme et Que de 1 à 40 avec numération de l'argument et caractérisation de sa qualité d'entrée par code couleur (noir, gris foncé, gris clair)
- ***D*** Total : cumul des scores Comme, ou Que en AS puis décomposition de ces scores par entrée (noir en AT, gris foncé en AU, gris clair en AV)
- ***E*** Scores d'arguments Comme par entrée Dessin d'esquisse : Indique les totaux d'arguments Comme par entrée, par dessin d'esquisse en AT-13 (ici 17), par commentaire sur dessin d'esquisse en AU-13 (ici 1), par commentaire sans dessin d'esquisse en AV-13 (ici 0)
- ***F*** Scores d'argument Que par entrée : Indique les totaux d'arguments Que par entrée, par dessin d'esquisse en AT-13 (ici 17), par commentaire sur dessin d'esquisse en AU-13 (ici1), par commentaire sans dessin d'esquisse en AV-13 (ici 0)
- ***G*** Scores d'argument par entrée : Indique les totaux d'arguments par entrée, par dessin d'esquisse en AT-15 (ici 24), par commentaire sur dessin d'esquisse en AU-15 (ici 5), par commentaire sans dessin d'esquisse en AV-15 (ici 6)

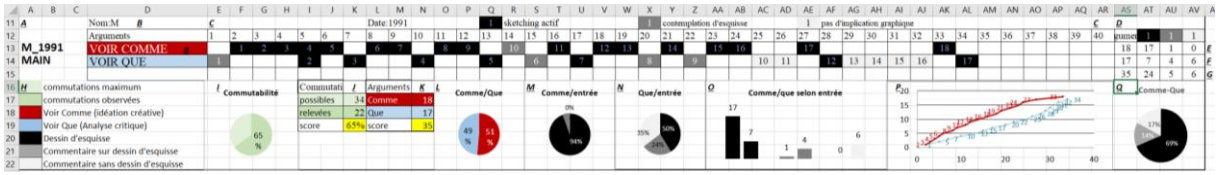


Figure 49 Adaptation de la grille annotative de Goldschmidt avec comptage et indicateurs

- ***H*** Légende : Résume les codes couleur employés pour différencier les critères
- ***I*** Indicateur de commutabilité : Basé sur les scores de commutation décrits ci-dessous, il exprime une fréquence de changement de point de vue Comme et Que, sachant qu'un taux de commutations élevé (tendant à 100%) ou nul est presque impossible.
- ***J*** Score de commutabilité : basé sur le nombre maximal de commutations possible entre comme et que (ici 34), puis il indique le nombre relevé de commutations (ici 22), et le rapport des deux exprimé en pourcentage (ici 22/34 soit 65%).

- ***K*** Score d'arguments : indique le nombre d'arguments Comme (en rouge) et Que (en bleu) et du total (en jaune) provenant de la colonne AS
- ***L*** Indicateur d'argument : Basé sur les scores d'arguments décrits ci-dessus, il exprime la répartition d'arguments Comme et Que, sachant que le critère du dialectisme suppose une proportion plus ou moins équivalente entre les arguments Comme et Que
- ***M*** Indicateurs Comme par entrée : sur la base des Scores d'arguments Comme par entrée, exprime la répartition des arguments Comme par entrée (noir : image, gris foncé : image et langage, gris clair : langage)
- ***N*** Indicateurs Que par entrée : sur la base des Scores d'arguments Que par entrée, exprime la répartition des arguments Que par entrée (noir, gris foncé, gris clair)
- ***O*** Indicateur Comme/Que selon entrée : sur la base des totaux de scores d'arguments par entrée (en AT, AU et AV lignes 13 et 14), exprime la répartition et le score total des entrées (noir en AT, gris foncé en AU, gris clair en AV)
- ***P*** Courbes d'arguments Comme et Que : Sur la base de la grille annotative ***C*** , la courbe rouge exprime la tendance des arguments Comme et numérote les arguments, la courbe bleue exprime la tendance des arguments Que et numérote les arguments.
- ***Q*** Indicateurs de répartition des arguments Comme et Que par entrée : sur la base des Scores d'arguments Comme et Que par entrée, exprime la répartition des arguments Comme par entrée (***G*** : noir, gris foncé, gris clair)

6.3.4. Grilles annotatives des passations de Goldschmidt (1991) avec quantités, scores et indicateurs

Nous reprenons ici les trois grilles annotatives présentée par Goldschmidt dans son étude (Goldschmidt, 1991b) auxquelles nous avons ajouté nos indicateurs et quantifications[586].

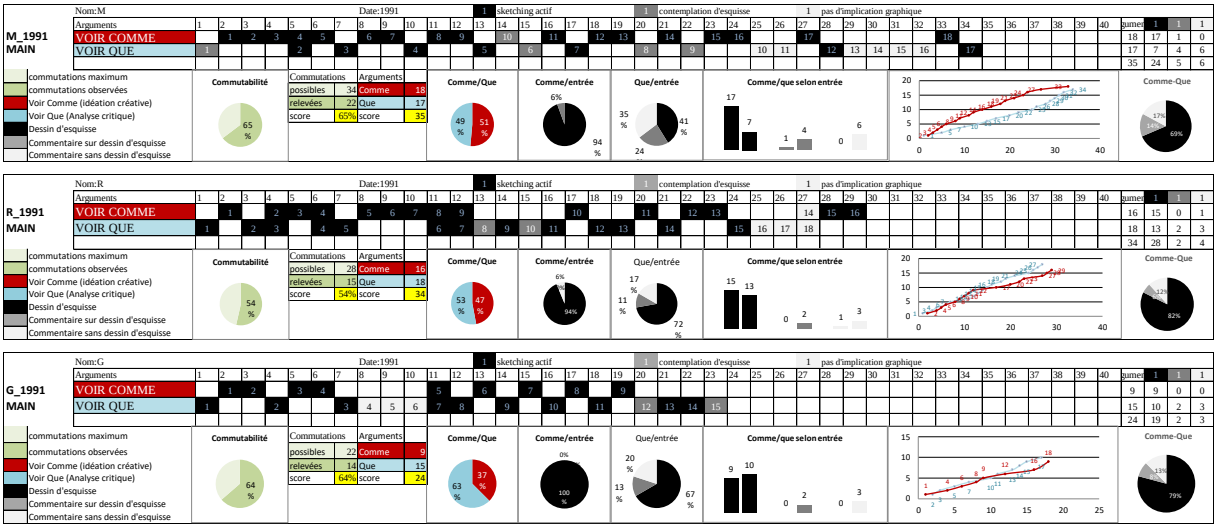


Figure 50 Retranscription des passations de Goldschmidt (1991) avec quantifications et indicateurs

[586] Cf. section 6.3.3.

Les indicateurs rajoutés en Figure 50 traduisent graphiquement et en chiffre les conclusions de Goldschmidt : la plupart des arguments Comme s'expriment par dessin d'esquisse. De moindre importance, d'autres indicateurs détaillent les arguments en précisant s'ils se rattachent à un groupe de trois arguments (tierce), de deux (paire) ou s'ils sont isolés. Ces détails seront discutés dans la section 7.1.5. Ces passations durant deux heures en moyenne présentent un taux de commutabilité de 61%, et permettent de produire en moyenne 31 arguments (Cf. tableau suivant Figure 51, cases en jaune). Ces résultats sont vus comme des références de la modalité d'esquisse consacrée, la Main, et nous verrons si nous obtiendrons des résultats comparables dans nos passations à la Main et avec les autres modalités.

SCORES Goldschmidt (1991)	Commutabbilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
M_1991	65%	35	2	5	3
R_1991	54%	34	5	4	2
G_1991	64%	24	3	2	10
Moyenne	61%	31	3	4	5

Figure 51 Tableau-résumé des scores et indicateurs des passations menées par Goldschmidt (1991)

Le tableau Figure 51 ci-dessus résumant les scores de commutabilité et de quantité d'arguments sera repris pour conclure chaque passation, exposant les résultats de chaque participant utilisant les quatre modalités d'esquisse éprouvées. Le tableau suivant Figure 52 détaille les qualités d'entrée des sous-totaux et totaux d'arguments Comme (rouge) ou Que (bleu) : dessin seul en noir, dessin commenté en gris foncé, commentaire seul en gris clair. Les proportions montrent la qualité presque exclusivement graphique des arguments Comme constitués à 95% en moyenne de dessins d'esquisse non commentés. La proportion des arguments graphiques est moindre pour les arguments Que mais reste élevée (60% en noir), les 40% restant impliquant partiellement du langage (16% en gris foncé) ou totalement le langage (24% en gris clair), les arguments Que exprimant plutôt une prise de recul lié à une phase d'analyse.

Goldschmidt (1991) MAIN : VOIR COMME/QUE	P1	P1	P2	P2	P3	P3	COMME	QUE	TOTAL	MOYENNE	MOYENNE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-TOTAL	Pourcentage	Pourcentage
Dessi	17	7	15	13	9	10	41	30	71,0	13,7	10,0	10,1	4,2	3,0	3,8	95%	60%
Comr	1	4	0	2	0	2	1	8	9,0	0,3	2,7	1,3	0,6	1,2	1,5	2%	16%
Comr	0	6	1	3	0	3	1	12	13,0	0,3	4,0	1,9	0,6	1,7	2,3	2%	24%
sous-	18	17	16	18	9	15	43	50	93	14,3	16,7	13,3	4,7	1,5	3,4	100%	100%

Figure 52 Arguments Comme et Que détaillés selon leur entrées graphiques, semi-graphiques et langagières

Nous ne disposons pas d'informations complémentaires permettant d'affiner le relevé d'arguments. Si discerner la qualité Comme ou Que d'un argument peut paraitre relativement évident, nous ne sommes pas sûr du grain auquel il doit être relevé. De même, il serait présomptueux de croire que nous pourrons relever les informations strictement de la même

façon que Goldschmidt à l'époque. Nous pourrons discuter ces points dans la section 7.1.6 où les résumés des passations seront exposés et 7.1.1 où les passations à la Main sont exposées.

6.3.5. Adaptation de *VAirDraw* au « dessin spatialisé Bimable »

Des séances préparatoires menées à l'aide des équipes de recherche Mint et Pirvi de l'Université de Lille au sein de l'agence d'architecture ANMA[587] ont permis, sur la base de la version « artistique » de *VAirDraw*[588], d'ajouter les fonctionnalités requises pour son portage au domaine architectural. Présenté par son concepteur, Samuel Degrande, comme l'équivalent en 3D (ou spatialisé) d'un outil de dessin de type *Paint*, *VAirDraw* correspond maintenant à ce qui peut être attendu du dessin spatialisé, au prix de quelques adaptations. Il a s'agit de faciliter les modalités de déplacement (accélération, déplacements, changements d'échelle, ascenseur), les modalités d'annotation (ligne droite par deux points, *snapshot*), et les modalités de mesure utile à l'architecte ainsi que la fonctionnalité d'importation de modèle 3d. Un problème de perte d'informations s'est posé : nous n'avons pas pu préserver la couche sémantique propre à la modélisation BIM lors de son portage en réalité virtuelle, contrairement à au modèle bidirectionnel proposé par Kieferle et Woesner (2015). Contraints à une exportation en format .dae (collada), nous sommes partis du principe que seule la couche annotative créée via *VAirDraw* nous intéressait ; cette couche annotative pouvant être renvoyée vers le modeleur CAO-BIM où la sémantique BIM serait resté intacte. Nous n'avons pas besoin d'une pleine interopérabilité, il suffit que les traits spatialisés puissent accompagner le travail de contestation ou d'analyse critique de la modélisation BIM. Les séances de dessin spatialisé en RV pourraient informer sur les potentialités du dessin spatialisé face à une modélisation BIM.

6.3.6. Problème sémantique entre CAO-BIM et RV

Nos recherches nous ont toutefois permis d'identifier au moins trois familles de solutions possibles à ce problème de rupture de « continuité sémantique » entre l'outil de CAO-BIM et *VAirDraw*. La première solution consisterait en la captation du signal OpenGL émis par la plupart des logiciels de CAO (e.g Catia®, Revit®, Allplan®, Archicad®, etc.), ou médicaux, ou autre à l'image des démonstrateurs proposés par la société française Techviz[589]. David Zielinsky et son équipe donnent des détails sur ce principe :

> « Un des premiers projets d'interception d'OpenGL fut WireGL, qui utilisait une méthode d'interception transmettant les commandes OpenGL à un ou plusieurs canaux-serveurs. WireGL a évolué en Chromium, mieux connu, une librairie logicielle de répartition de décisions graphiques envers un environnement d'affichage en cluster. Depuis lors, Chromium a été utilisé pour afficher des graphismes à partir d'applications fermées dans des systèmes de réalité virtuelle immersifs, tels que l'Allosphere à l'Université de Californie à Santa Barbara. *TechViz* est un produit commercial semblable à Chromium. Il utilise une approche basée sur

[587] Cf. section 6.2
[588] http://cristal.univ-lille.fr//pirvi/projects/*VAirDraw*/
[589] Techviz. http://www.techviz.net/

> l'interception pour visualiser les graphiques générés par une application de bureau sur les systèmes immersifs en RV. » (Zielinski et al., 2014, p. 1) [590]

La deuxième famille de solutions consiste en la maîtrise du workflow utilisant le format d'échange de fichier IFC et de tester si l'interopérabilité dont elle est le vecteur[591] serait extensible en réalité virtuelle. Il reste à savoir si ce besoin de préservation de la couche sémantique serait extensible en RV. Une troisième famille de solution met en balance un poste de CAO-BIM doté d'une interface classique *WIMP* et une scène collaborative utilisant deux casques de RV selon un principe d'échange qualifié de « Bi-directionnel » où chaque modification induisait une mise à jour dans le dispositif « symétrique » :

> «Compared to various existing approaches, our new approach is to have bidirectional data exchange between the systems. Changes in Revit are directly reflected in VR and vice versa, continuously updating the model and its underlying data base. We have been able to implement a range of interactions, however it's still a long way to identify further useful interactions and to implement them » (Kieferle and Woessner, 2015b, p. 69) [592]

L'échange bidirectionnel de données entre Revit et la scène en RV est ici assurée par une continuelle mise à jour du modèle et de sa base de données. Il s'inscrit dans la logique d'interopérabilité et c'est précisément sur ce point que notre approche diffère : la modalité de dessin spatialisé que nous voulons proposer est supposer apporter une approche dissonante qui ne nécessite pas cette interopérabilité, il suffit de proposer un espace d'expression de points de vue alternatifs et contradictoire aux options et décisions portées par la modélisation BIM, ce qui nous amène à corréler le concept d'interopérabilité à celui de la consensualité que pointait Estevez (Estevez, 2013a)[593], l'aplanissement de conflits ou d'incohérences serait une des conditions requise par l'injonction d'interopérabilité, il produit l'a-dialetcisme.

6.3.7. Conception et déroulé de l'expérience

Reprenant les considérations précédentes, nous proposons ici la description des conditions expérimentales en présentant le déroulé du protocole de passation. Sept architectes expérimentés (une dizaine d'années d'expérience), nommés de P1 à P7, ont été engagés dans quatre séances de conception d'une heure chacune sur une demi-journée, soient quatre heures en tout. Chacune de ces quatre séances présente un contenu contextuel et programmatique comparable aimablement procuré par l'association Europa (e.g. documentation de programme, analyse de site, présentation des documents graphiques, photographies, etc.) documents dont la qualité élevée et uniforme nous a bénéficié. Ce qui diffèrera entre ces quatre séances d'une

590 in (Zielinski et al., 2014, p. 1) Trad.Gouezou
591 In (Teulier et al., 2017)
592 « Comparée à diverses approches existantes, notre nouvelle approche consiste à avoir un échange bidirectionnel de données entre les systèmes. Les modifications apportées à Revit se reflètent directement dans VR et vice versa, en mettant continuellement à jour le modèle et sa base de données sous-jacente. Nous avons pu mettre en œuvre une gamme d'interactions, mais c'est encore un moyen d'identifier d'autres interactions utiles et de les mettre en œuvre. » Trad.Gouezou
593 Cf. section 2.2.5

heure sera la modalité d'esquisse employée qui justifie l'étude comme nous cherchons à comparer les performances dialectiques de ces modalités entre elles (Main, DAO, CAO-BIM ou RV avec dessin spatialisé). L'ordre des séances et des modalités est changé arbitrairement afin d'éviter tout effet d'apprentissage. Le matériel et le dispositif technique nécessaire à chaque modalité d'esquisse est globalement présenté au début puis détaillé à chaque début de séance. L'expérience de Goldschmidt est présentée au participant ainsi que l'adaptation que nous en faisons dans la mesure du nécessaire. Le participant doit co-valider la qualité de chaque entrée (*input*) d'argument de conception, essentiellement dire s'il est propositionnel (voir Comme) ou analytique (voir Que). Le déroulé du protocole s'enchaine ainsi :

1/ Le participant est accueilli en apprenant qu'il doit agir lors de quatre séances de conception menées avec différents moyens mais avec un contenu programmatique et contextuel comparable basé sur le contenu d'un concours international d'architecture (Europan). Les quatre modalités d'esquisse s'enchainent selon un ordre changeant pour chaque participant pour éviter un effet d'apprentissage.

2/ La décomposition et le *timing* du protocole lui sont expliqués : 10 minutes de prise de connaissance des documents relatifs au programme, au contexte et toute information utile pour la mise en situation. 40 minutes de conception. 5 minutes de réponse à un questionnaire et 5 minutes de pause, pour un total de 60 minutes répété quatre fois, soit une demi-journée. Une exception est prévue dans ce déroulé pour la découverte de la séance d'esquisse en RV car elle requiert un temps d'apprentissage libre limité à 10 minutes maximum

3/ La méthode de suivi à voix haute (*Thinking aloud monitoring)* est présentée ainsi que l'adaptation du protocole de Goldschmidt (Goldschmidt, 1991a) devant déterminer la qualité de chaque argument de conception (soit propositionnel avec voir Comme, soit analytique avec voir Que) selon un double contrôle du participant et de l'expérimentateur.

4/ 0' : Le participant s'informe, lisant les instructions provenant d'Europan sur un programme spécifique dans un contexte donné (10 minutes). Les documents nécessaires sont fournis et l'on peut consulter le site internet Geoportail pour accéder à plus de contenu.

5/ 10' : La séance de conception se déroule durant 40 minutes sans autre échange oral que ceux nécessaire à la détermination de la qualité d'un argument de conception. Quel que soit l'ordre de passage des modalités d'esquisse, des restrictions ont été signifiées pour garantir la valeur de l'expérience. A la main, le recours à l'ordinateur est proscrit hormis pour consulter le site internet Geoportail. En DAO, aucun autre moyen d'esquisse n'est toléré à part Autocad. En CAO-BIM, aucun autre moyen d'esquisse n'est toléré à part Revit. En RV, aucun autre moyen d'esquisse n'est toléré à part le dessin spatialisé. Les documents utiles et essentiels à la conception ont été numérisés et affichables dans la scène en RV, sans interdire la possibilité de retirer le casque de RV pour consulter les documents originaux.

6/ 45' : 5 minutes avant la fin du protocole, le participant est prévenu du temps restant en précisant qu'il n'y a aucune obligation d'atteindre une conception aboutie

7/ 50' : Les 5 dernières minutes sont consacrées à un questionnaire inspiré du NASA TLX devant préciser la perception détaillée d'une modalité d'esquisse donnée par le participant
8/ 55' : 5 minutes de battement permettent de faire une pause avant la passation suivante

6.3.8. Test du protocole à la Main sur le site d'Angers



Figure 53 dossier synthétique Europan14 analysant le site d'Angers. Crédit photo Europan

Une série de fonds de plans a été fournie à différentes échelles, du 10000ème au 200ème, accompagnés de photos et photos aériennes, ainsi que des dossiers d'analyse d'Europan 14. Une trousse contenant de multiple crayons (feutres, feutres couleur, porte-mines, crayons de bois, gomme, équerre, double-décimètre, scotchs repositionnables, etc.) a été fournie.

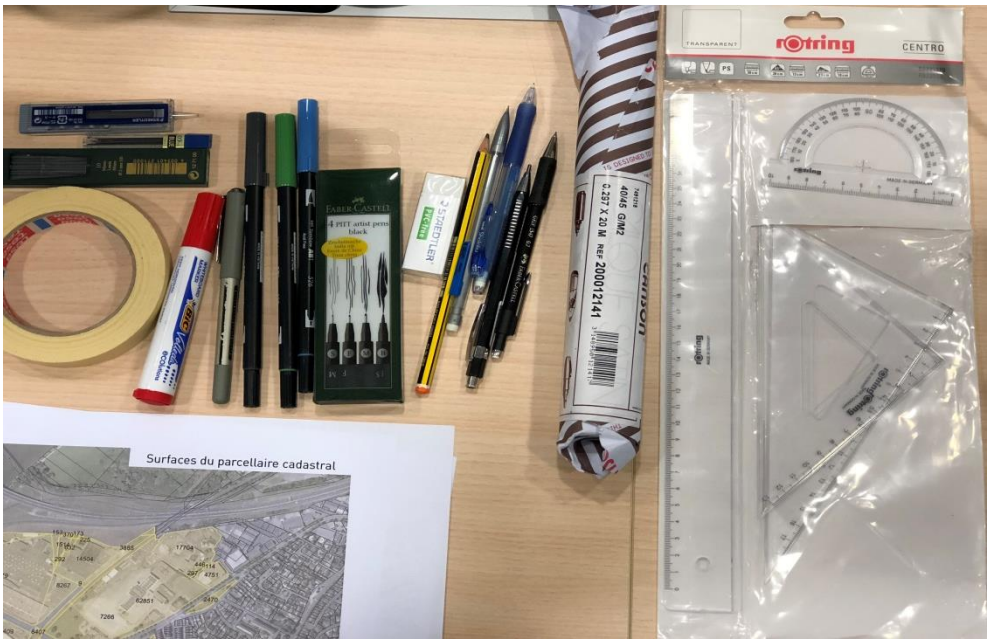


Figure 54 fournitures pour l'esquisse à la main. Crédit photo Vincent Gouezou

Un rouleau de calque d'étude a été fourni pour recueillir les dessins, et il a été demandé de le dérouler sur les différents fonds de plan afin d'éviter d'avoir des feuilles volantes, et garantir ainsi l'intégrité de l'esquisse. Le caractère fragmentaire du dessin d'esquisse a permis au P0 de créer des liens logiques entre différents documents.

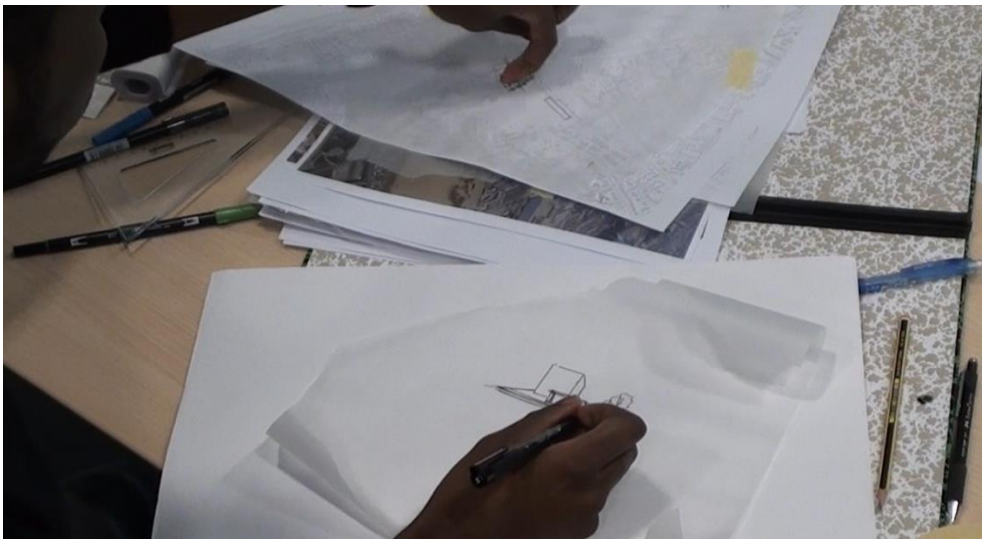


Figure 55 test du protocole Main (site Europan14 d'Angers). Esquisse du P0. Crédit photo Vincent Gouezou

Il conviendra de faire une exception en laissant accès au site Géoportail durant les 10 premières minutes d'information de façon à ce que les quatre modalités soient éprouvées également.

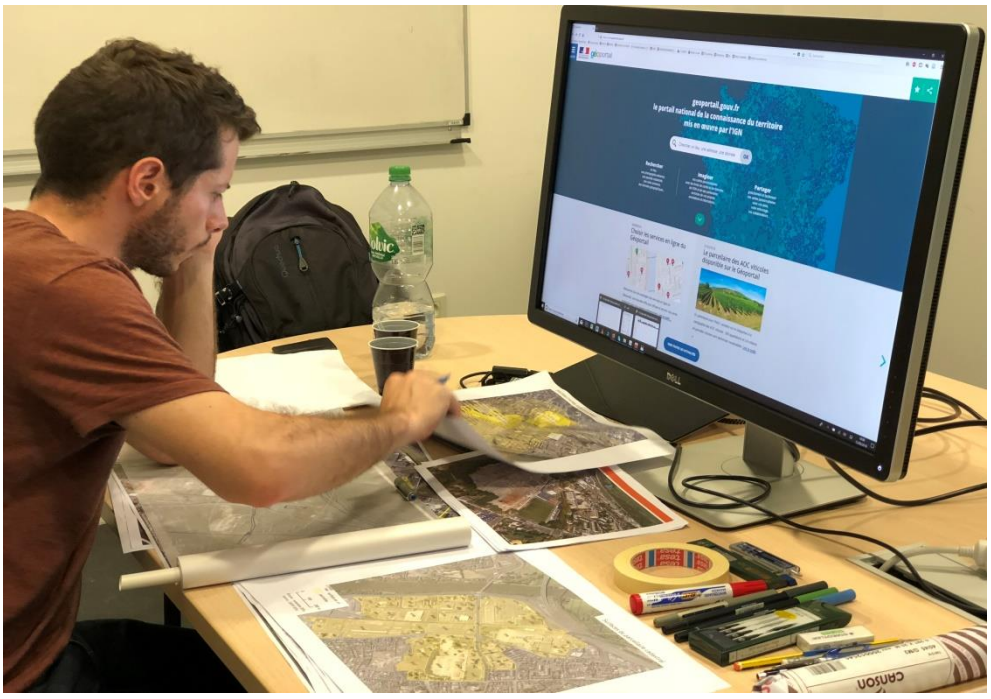


Figure 56 autorisation d'accès aux fonctionnalités de Géoportail. Crédit photo Vincent Gouezou

6.3.9. Test du protocole en DAO sur le site d'Aurillac

Les documents nécessaires, comme les fonds de plans, photo aériennes et dossiers d'analyse d'Europan14 seront accessibles sur ordinateur, de même que l'accès à toutes les fonctionnalités du site Géoportail[594]. L'usage du dessin à la main sera proscrit. Le fichier dwg fourni sera copié et le participant pourra y créer à sa guise ses calques pour recueillir et classer ses traits et aplats.

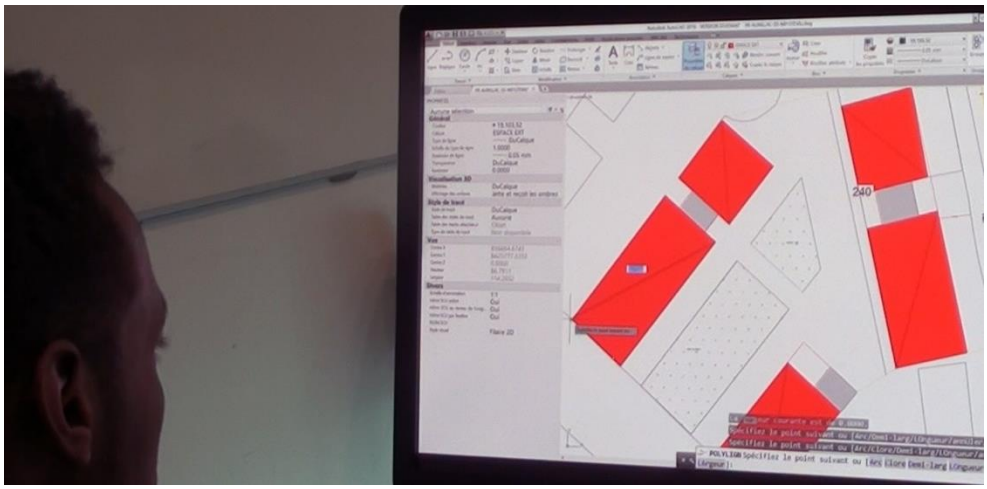


Figure 57 test du protocole DAO sur le site Europan14 d'Aurillac. Crédit photo Vincent Gouezou

6.3.10. Test du protocole en CAO-BIM sur le site de Bègles

La documentation nécessaire, comme les fonds de plans, les photos aériennes et dossiers d'analyse seront accessibles sur ordinateur, ainsi que l'accès à toutes les fonctionnalités du site Géoportail. L'usage du dessin à la main sera proscrit. Déployée en 3D, la modélisation BIM a semblé nécessiter, outre un fond de plan dwg affiché en demi-teinte, un modèle 3D du site.

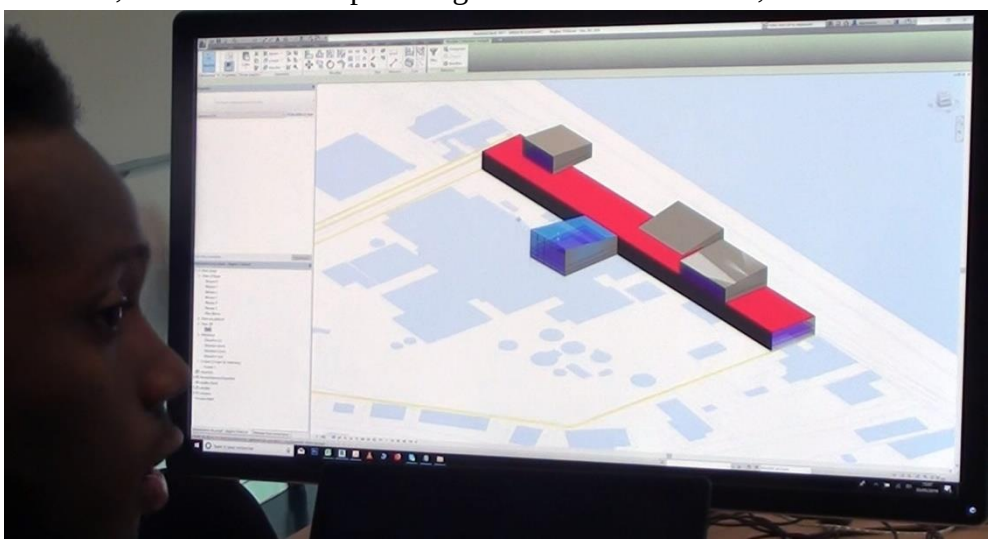


Figure 58 test du protocole CAO-BIM sur le site Europan14 de Bègles. Crédit photo Vincent Gouezou

[594] http://www.geoportail.gouv.fr

Ce modèle 3D du site est un nuage de points obtenu par les moyens de la photogrammétrie. Les photos nécessaires à cette photogrammétrie ont été obtenues sur un logiciel gratuit présentant des modèles urbains en 3D. Chaque photo a ensuite été dotée de coordonnées GPS par un

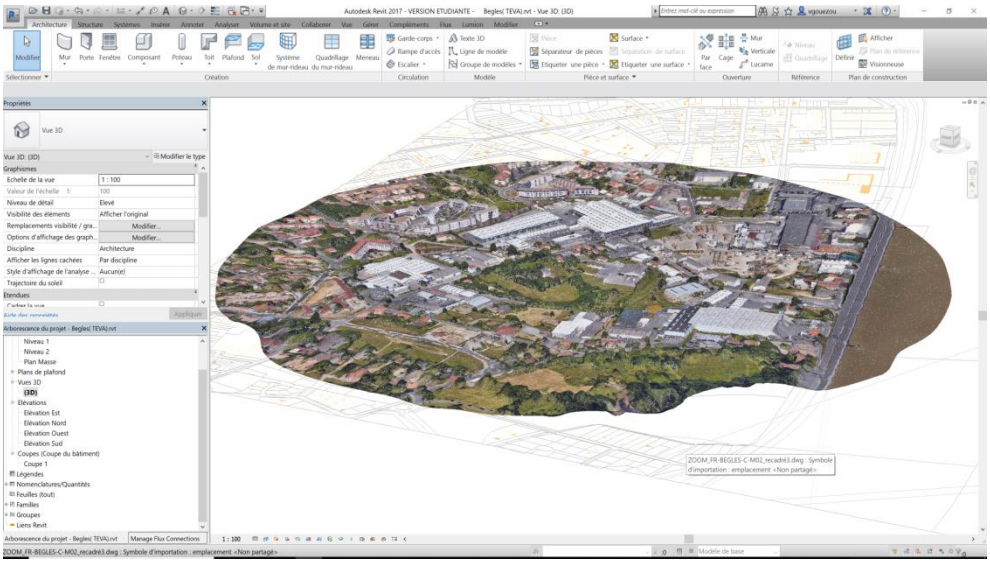


Figure 59 test de superposition du nuage de points sur fond de plan dwg. Crédit photo Vincent Gouezou

logiciel élaboré par l'équipe MINT, puis le tout a été envoyé à un logiciel de photogrammétrie en ligne. Le nuage de point restitue une ambiance réaliste du quartier concerné (Cf. Figure 59). Le procédé sera également utilisé pour les manipulations en RV, sur un plus grand site.

6.3.11. Test du protocole en RV et dessin spatialisé sur le site de Grigny-Ris Orangis

Les documents nécessaires tels les fonds de plans, photo aériennes et dossiers d'analyse d'Europan14 seront accessibles sur ordinateur, de même que l'accès à toutes les fonctionnalités du site Géoportail avant de mettre le casque de RV. Pour compenser l'inaccessibilité aux documents à cause du port du casque, *VAirDraw* a été adapté pour pouvoir afficher des documents graphiques de support dans l'environnement virtuel (EV), évitant de devoir retirer le casque (Cf. Figure 61). Cette intégration de documents au sein de l'EV permet d'éviter une rupture de l'EV en enlevant le casque, ce qui permet de mieux préserver la continuité immersive conformément aux conclusions de l'étude de Grübel et al (2017)[595]. Le P0 a exprimé une fatigue due à la longue station verticale ; sachant que la position de ses bras était trop haute, ce qui lui a pourtant été signifié. La consigne sera donnée aux participants de placer le site photogrammétrique (Cf.

[595] Dans le cadre d'études scientifiques en RV, ils ont établi qu'il fallait intégrer les questionnaires et document dans la scène virtuelle (Grübel et al., 2017)



Figure 63) à hauteur de nombril de façon à garder les bras à une hauteur raisonnable. Ces précautions s'avèreront utiles car aucun participant n'exprimera une telle gêne.

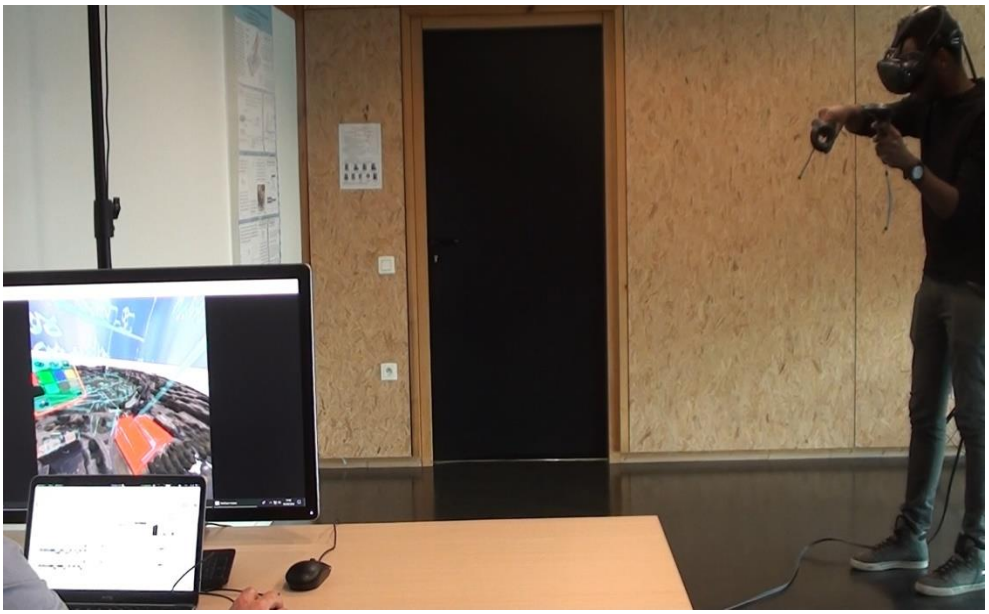


Figure 60 test du protocole RV sur le site Europan14 de Grigny-Ris Orangis



Figure 61 test des fonctionnalités d'affichages de documents de support en casque en RV. Crédit photo Vincent Gouezou

Le dessin spatialisé à grande échelle en vraie grandeur n'apporte rien à la conception ; au contraire, elle semble être peu performante, conformément à l'étude de Grossman et Singh :

> « full-scale design in VR is not a good strategy, if precision is desired. Instead, we suggest that VR design tools allow users to draw in a small manageable scale to improve accuracy and comfort, while allowing users to quickly switch to full-scale view to utilize the visualization benefits afforded by VR [20, 36]. » (Grossman et al., 2017b, p. 10) [596]

La conception à échelle réelle en RV n'est pas une bonne stratégie, le dessin à petite échelle étant plus précis et confortable. Ayant fait des constats semblables avant et pendant le test avec le P0, nous avons conclu que si l'observation requiert des sauts d'échelle - entre la petite échelle et l'échelle réelle - une petite échelle correspondant à l'amplitude du bras dessinant convient mieux. Woessner et Kieferle font valoir un point de vue divergent concernant l'intérêt de l'échelle un (Woessner and Kieferle, 2016, p. 566) mais nous soulignons qu'ils visent à faire des sessions collaboratives de revue de projet n'impliquant pas que des architectes. Les tests des outils sur la palette (Cf. Figure 62) portée sur la main gauche montrent leur rôle mineur : l'essentiel des déplacements, zoom, et actions de dessin sont exécutés par le biais des manettes ou contrôleurs. Nous signalons l'avis contradictoire d'Olivier Demangel, concepteur et intégrateur VR pour la société IVR Nation, qui déclarait au magazine *Dezeen* que la force principale de la VR était de permettre d'accéder à la conception en vraie grandeur :

> « The only thing that could compete with VR is a 1:1 scale model, which would be far more expensive, obviously. This applies to architecture as well. For example, with the Oculus Rift,

[596] « la conception à échelle réelle en RV n'est pas une bonne stratégie, si la précision est requise. Au contraire, nous suggérons que les outils de conception en RV permettent aux utilisateurs de dessiner à une petite échelle gérable pour améliorer la précision et le confort, tout en permettant aux utilisateurs de passer rapidement à la vue à échelle réelle pour bénéficier des atouts offerts par la VR » Trad.Gouezou

you could detect flaws or issues in architecture that you couldn't see on plans » (Demangel, 2015)[597]

Selon nous, un rare précédent de maquette à échelle un a été relaté par l'architecte Rem Koolhaas dans son ouvrage *S,M,L,XL* concernant l'architecte allemand Mies Van der Rohe. A l'occasion d'échanges avec sa cliente, une héritière de la famille Kröller Muller qui ne visualisait pas le projet de villa, Mies a fait tendre des cordes à linges sur le site de Wassenaar aux Pays-Bas pour figurer les murs par des draps blancs. Le caractère anecdotique de cette « maquette » à échelle 1 nous conforte dans l'idée que son besoin est faible pour les architectes.

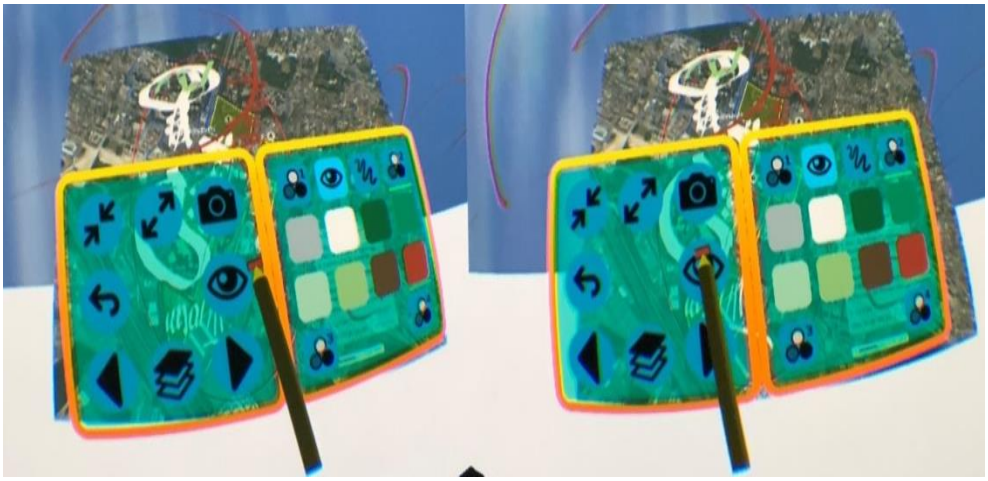


Figure 62 outils sur palettes (outils zoom en haut à gauche. Flèche d'Undo en dessous). Crédit image Samuel Degrande

Etant aussi déployée en 3D, la scène en RV a nécessité un grand modèle 3D du site de Grigny-Ris Orangis couvrant deux Km^2. Ce modèle 3D est affiché en maillage texturé obtenu par les moyens de la photogrammétrie. A cet effet, les photos ont aussi (Cf. fin de la section 6.3.10) été obtenues sur un logiciel présentant des modèles 3D urbains ; qu'elles ont ensuite été dotées de coordonnées GPS puis envoyée à un logiciel de photogrammétrie en ligne.

[597] « La seule chose qui pourrait concurrencer la RV est un modèle à l'échelle 1:1, ce qui serait beaucoup plus cher, évidemment. Cela s'applique également à l'architecture. Par exemple, avec l'Oculus Rift, vous pourriez détecter des défauts ou des problèmes dans l'architecture que vous ne pourriez pas voir sur les plans. » Trad.Gouezou



Figure 63 test du site Europan14 de Grigny et Ris Orangis en maillage texturé



Figure 64 test de qualité d'affichage. La fonctionnalité de dessin de segment de droite a été rajouté à *VRaiDraw* doublé par un outil de mesure en jaune ci-dessus (« 730m » Figure 63).

Conformément aux conclusions des sections 2.4 et 2.5[598], les premiers essais sont concluants : l'immersion en site semble donner suffisamment d'informations pour susciter et exprimer des idées de conception. A terme, on peut supposer que la qualité d'un tel modèle s'améliorera et bénéficiera au concepteur. L'outil de mesure a validé l'échelle du modèle. Si nous avions voulu aller plus loin, d'autres méthode de saisie de géométries à l'échelle urbaine intégrant BIM et RV existent mais paraissent plus techniques.

[598] L'immersion est améliorée par un contenu 3D réaliste (Schnabel et al., 2007, p. 12), elle permet une meilleure appréhension de l'espace, performe mieux que les représentations traditionnelles, facilitant l'évolution et la manipulation du projet (Schnabel et al., 2007). Elle procure un feedback avec l'EV (Schnabel et al., 2008, p. 297). L'acuité des concepteurs est augmentée par l'immersion en RV (Schneider et al., 2018, p. 106).

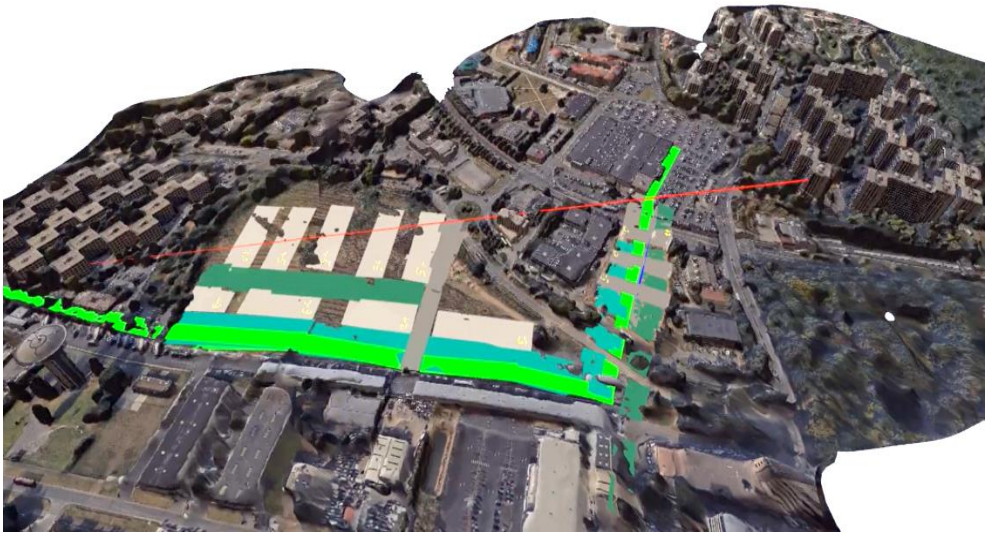


Figure 65 test personnel d'esquisse en dessin spatialisé. Crédit photo Samuel Degrande et Vincent Gouezou

Par exemple, Yan et al en 2010 répertorient des travaux - dont les leurs - qui intègrent la géométrie BIM avec les informations dans un Environnement Virtuel (EV) autour du format XML et du logiciel CityGML via le format d'échange IFC:

> « XML (Extensible Markup Language) data is also used in BIM visualization, for example, in [(Doulis, 2007) NDLR], 3D data is stored in a VRML file and attached to construction information stored in XML files, which are displayed using Augmented Reality technologies. In [(Hagedorn and Döllner, 2007) NDLR] and [(Döllner and Hagedorn, 2007) NDLR], the authors developed methods to map BIM data onto CityGML (in XML format) through the mapping from IFC to XML by identifying and matching building objects and features in the two formats, before the city model is visualized with existing 3D geo-data visualization technologies. The limitations include : not all IFC elements have a canonical representation in CityGML, CityGML does not support some shape representation of IFC, and some IFC building details cannot be directly mapped. For illustrating building construction processes, BIM and 4D (3D space and time) visualization have been studied. For example, an approach is presented in [(Tulke and Hanff, 2007) NDLR] for the preparation of 4D construction process simulations by using both 3D models and BIM database accessed through Standard Query Language (SQL).» (Yan et al., 2011, p. 448) [599]

[599] « Les données XML (Extensible Markup Language) sont également utilisées dans la visualisation BIM, par exemple dans [(Doulis, 2007) NDLR], les données 3D sont stockées dans un fichier VRML et attachées aux informations de construction stockées dans les fichiers XML, qui sont affichées en réalité augmentée. Dans [(Hagedorn et Döllner, 2007) NDLR] et [(Döllner et Hagedorn, 2007) NDLR], les auteurs ont développé des méthodes pour faire le mapping des données BIM sur le CityGML (en format XML) via le mapping de l'IFC au XML en identifiant et comparant des objets et fonctionnalités du bâtiment aux deux formats avant de visualiser la modélisation urbaine en 3D à partir de technologies de visualisation des géo-données. Les limitations incluent : tous les éléments IFC n'ont pas une représentation canonique dans CityGML, et CityGML ne supporte pas une certaine représentation de forme d'IFC, et certains détails de construction IFC ne peuvent pas être directement mappés. Pour illustrer les processus de construction de bâtiments, la visualisation BIM et 4D (espace et temps 3D) a été étudiée. Par exemple, une approche est présentée dans [(Tulke and Hanff, 2007) NDLR] pour la préparation de simulations de processus de construction 4D en utilisant à la fois des modèles 3D et des bases de données BIM accessibles via le langage de requête standard (SQL).» Trad.Gouezou

Ces méthodes ont probablement évolué depuis 2010, et il serait maintenant plus facile de récupérer un modèle urbain sur CityGML® puis de l'exporter dans un format non sémantisé comme le nôtre, au format OBJ ou DAE, ou en veillant à intégrer la base de donnée BIM , par exemple via le logiciel de transfert *FME workbench*® de d'éditeur *Safe* ou via *Covise*® utilisé par Kieferle et Woessner (Kieferle and Woessner, 2015b). Mais nos besoins sont restés modestes de ce point de vue étant donné qu'il s'agissait d'offrir des fonctionnalités de dessin spatialisé en EV sans besoin de modifier les géométries ni d'interagir avec la base de données, sans besoin d'interopérabilité.

6.3.12. Préparations : déroulé, ordres des passations, participants, programmes

Les dates de passation suivent le codage des participants de P0 à P7, auquel on fait correspondre le nom. L'ordre de passation par modalité d'esquisse varie d'un participant à l'autre de 1 à 4.

calendrier et ordre passations	Particip	Noms	1	2	3	4
03/05/2019	P0	Teva Colonneau	CAO-BIM	DAO	RV	main
23/05/2018	P1	Pierre-Antoine SAHUC	main	DAO	RV	CAO-BIM
25/05/2018	P2	Thomas CHUFFART	main	RV	CAO-BIM	DAO
01/06/2018	P3	Benjamin QUINIOU	main	RV	DAO	CAO-BIM
04/06/2018	P4	Julien RAMET	DAO	RV	main	CAO-BIM
05/06/2018	P5	Anémone DEGAND	RV	CAO-BIM	DAO	main
08/06/2018	P6	Tristan O'BYRNE	CAO-BIM	main	RV	DAO
12/06/2018	P7	Kevin JACQUOT	DAO	RV	main	CAO-BIM

Figure 66 Calendrier et ordre de passation

Le déroulé est commun aux quatre modalités, 10 minutes de prise d'information concernant le contexte et le programme, suivies des 40 minutes de conception qui sont le cœur du protocole, 5 minutes de questionnaires puis 5 minutes de battement. La découverte de la modalité de dessin spatialisé en RV appelé *VAirDRAW* requiert un temps d'apprentissage, plus ou moins court. Toutes ces passations correspondent à l'objectif « impératif » de ne mobiliser qu'une demi-journée.

déroulé par modalité	apprentissage	contexte	manipulations	questionnaire	pause	SOUS-TOTAL
main	0	10	40	5	5	60
DAO	0	10	40	5	5	60
CAO-BIM	0	10	40	5	5	60
RV	5	10	40	5	5	65
					TOTAL	245

Figure 67 Déroulé par modalité

Chaque modalité d'esquisse est associée à un site particulier par soucis de comparabilité entre les participants, aucun biais ou effet d'apprentissage n'étant, *a priori*, à craindre ici.

modalité	site Europan 14
main	Angers
DAO	Aurillac
CAO-BIM	Bègles
RV	Grigny/Ris Orangis

Figure 68 assignation de site Europan 14 selon la modalité d'esquisse

Un programme détaillé est proposé pour chacun de ces quatre sites. Il est proposé sans insistance particulière, laissant le participant libre de choisir s'il en a besoin ou non. Nous supposons que ce programme complète les particularismes du site pour que la situation de conception soit perçue comme spécifique et réaliste et éviter les critiques du type de celle du participant Martin reprochant à Goldschmidt de lui fournir un plan de site trop abstrait, sans information sur le contexte ni orientation (Goldschmidt, 1991a, p. 132.133).

Angers

PROGRAMME BIBLIOTHEQUE	m2
Hall accueil	100
Salle principale	600
Salle enfant	400
Bureau dir.	15
Bureau adj.	15
Bureau 1	20
Bureau 2	20
cuisine salle repos	60
Fonds	350
Fonds spéciaux	200
sanitaires 1	15
sanitaires 1	15
sanitaire staff	10
Local technique	15
	1835
TOTAL	2000

Aurillac

PROGRAMME GROUPE SCOLAIR	m2
Hall accueil	100
réfectoire	300
Classe1 maternelle	80
Classe2 maternelle	80
Classe3 maternelle	80
Classe4 primaire	80
Classe5 primaire	80
Classe6 primaire	80
dégagment	80
cuisine salle repos	40
Fonds documentaires	50
Stockage	30
sanitaires 1	10
sanitaires 2	10
sanitaires 3 adultes	5
Bureau dir.	10
Bureau adj.	10
Bureau 1	10
Cour maternelle	200
Cour primaire	150
Local technique	15
TOTAL	1500

Bègles

		PROGRAMME LOGEMENTS COL	m2
rdc		Hall accueil	50
rdc		Local Poubelle	30
rdc		Local technique	30
rdc		Logement gardien T3	60
rdc	1	T2 Handicapable	45
rdc	2	T2 Handicapable	45
rdc	3	T3 Handicapable	60
rdc	4	T3 Handicapable	60
rdc	5	T3 Handicapable	80
rdc	6	T4 Handicapable	80
rdc	7	T4 Handicapable	80
rdc		distribution/dégagements	60
rdc		Sous-total	680
r+1	1	T2	45
r+2	2	T2	45
r+1	3	T3	60
r+1	4	T3	60
r+1	5	T3	80
r+1	6	T3	80
r+1	7	T4	80
r+1	8	T4	80
r+1	9	T4	80
r+1		distribution/dégagements	50
r+1		Sous-total	660
r+2	1	T2	45
r+2	2	T2	45
r+2	3	T3	60
r+2	4	T3	60
r+2	5	T3	80
r+2	6	T3	80
r+2	7	T4	80
r+2	8	T4	80
r+2	9	T4	80
r+2		distribution/dégagements	50
		Sous-total	660
		TOTAL	2000

Grigny/Ris Orangis

		PROGRAMME BUREAUX	m2
rdc		Hall accueil	200
rdc		espace attente/distrib.boissons	30
rdc		Réserves	30
rdc			60
rdc	1	B	45
rdc	2		45
rdc	3		60
rdc	4		60
rdc	5		80
rdc	6	Local Poubelle	30
rdc	7	Local technique	30
rdc		distribution/dégagements	60
rdc		Sous-total	730
r+1	1	T2	45
r+2	2	T2	45
r+1	3	T3	60
r+1	4	T3	60
r+1	5	T3	80
r+1	6	T3	80
r+1	7	T4	80
r+1	8	T4	80
r+1	9	T4	80
r+1		distribution/dégagements	50
r+1		Sous-total	660
r+2	1	T2	45
r+2	2	T2	45
r+2	3	T3	60
r+2	4	T3	60
r+2	5	T3	80
r+2	6	T3	80
r+2	7	T4	80
r+2	8	T4	80
r+2	9	T4	80
r+2		distribution/dégagements	50
		Sous-total	660
		TOTAL	2050

Figure 69 Programmes détaillés par site

Nous verrons ensuite que ce programme détaillé ne sera que partiellement utilisé, même si nous pensons que sa simple existence suffit à satisfaire les participants et à permettre les passations.

6.3.13. Soutiens

Les tests ont validé le format d'une demi-journée de manipulations, ce qui était un motif d'inquiétude sachant la difficulté de trouver des participants éligibles et d'obtenir leur consentement au-delà de cette limite. En quatre heures, entrecoupées de pauses de cinq minutes, le P0 a confirmé la faisablité du protocole sans fatigue excessive, ce que les particpants confirmeront. Il s'est déroulé de jour avec une vue sur le ciel et quelques arbres dans une grande pièce correctement ventilée. De l'eau et des aliments ont été fournis de manière à garantir, autant que possible, une égale énergie au long des manipulations.



Crédit photo Vincent Gouezou

7. RESULTATS ET ANALYSE: EVALUER LE DIALECTISME DES MODALITES D'ESQUISSE

7.1. Validation du critère des quantité d'arguments Comme et Que

Sur la base des grilles annotatives de Goldschmidt (1991) (Cf. section 2.2.3) que nous avons amendées (Cf. section 6.3.3) et recalculées (Cf. section 6.3.4), nous avons proposé une méthode DialecBIM dans la section précédente 6.3. Les sections suivantes présentent les résultats des passassions suivant ce protocole DialecBIM. Les critères majeurs proposés sont la proportion de commutations (en vert) entre arguments Comme et Que et la quantité d'arguments produits (rouge et bleu). L'indicateur de quantité d'arguments Comme (rouge) et Que (bleu) comportera une numérotation, un minutage et une spécification de l'entrée d'argument par colorations en niveau de gris[600]. Ces critères doivent déterminer le niveau de dialectisme d'une modalité d'esquisse. Nous proposons ces critères à la discussion et nous verrons s'ils sont validables.

7.1.1. Grilles annotatives avec indicateurs à la Main

En réunissant les sept passations à la Main, nous observons visuellement l'alternance des arguments Comme et Que ; nous pouvons aussi observer que les arguments Comme sont plutôt visuels (noirs) tandis que les arguments Que semblent plutôt langagiers (gris foncé ou clair).

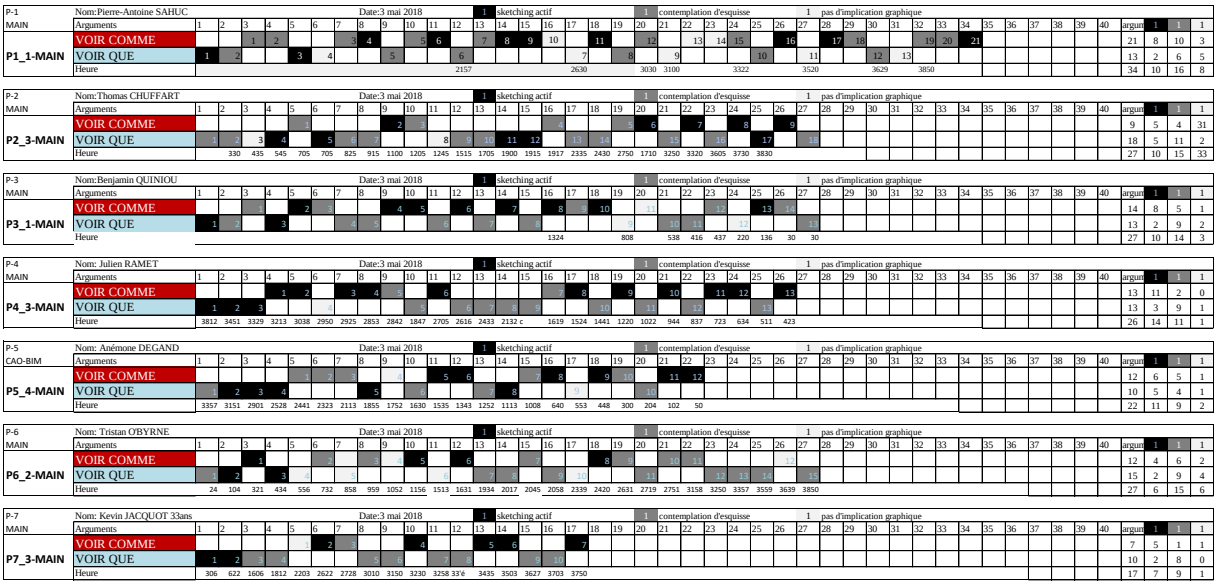


Figure 70 Grille annotative à la Main sans indicateurs

Toutefois, nous relevons des différences notables dans ces résultats comparativement à ceux obtenus par Goldschmidt (1991). Quarante minutes de passation DialecBIM produisent en moyenne vingt-six arguments (Cf. Figure 72 en jaune), contre deux heures pour Goldschmidt pour un score quasi identique, ce qui confirme que nos passassions ont dues être menées à grand rythme. Il faut rappeler ici que nous avons travaillé avec sept participants contre trois pour

[600] Noir= graphique sans langage, gris foncé= langagière sur base graphique, gris clair= langagier seul

Goldschmidt, et qu'ils ont éprouvé chacun quatre modalités d'esquisse contre une seule pour Goldschmidt. L'autre différence repose dans la composition des arguments qui sont beaucoup plus « graphiques » chez Goldschmidt, aux trois-quarts en moyenne (Cf. graphique ci-dessous Figure 71) comparativement à nos passations DialecBIM composées à 38% d'entrées graphiques, recul compensé par une part plus importante d'entrées graphiques commentées (gris foncé) à 49%. Nous imputons cette plus grande implication du langage dans DialecBIM

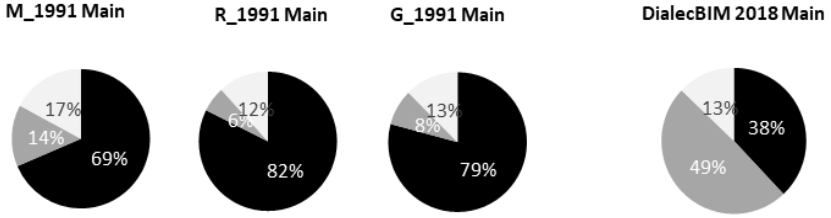


Figure 71 Comparaison de la répartition des arguments par entrée entre Goldschmidt (1991) et DialecBIM (2018)

à la nécessité de tenir la cadence des passations occasionnant plus d'interactions orales avec les participants pour DialecBIM que pour Goldschmidt (1991), notamment pour valider l'enregistrement des arguments. Cette répartition par entrée se base sur tous les arguments confondus. Le tableau suivant Figure 72 discerne les arguments Comme (rouge) ou Que (bleu) pour déterminer la nature de leurs entrées (*input*) qui sont graphiques (dessin d'esquisse en noir), semi-graphiques (commentaire sur dessin d'esquisse en gris foncé), ou langagières (commentaire sans dessin d'esquisse). Outre l'équilibre entre les moyennes d'arguments Comme (12,4) et Que (13,1), nous observons que la moitié des arguments Comme (6,7 sur 12,4) sont d'entrée graphique (noir), et que plus de la moitié des arguments Que (8 sur 13,1) sont des entrées graphiques commentées (gris foncé) et que peu d'arguments sont purement langagiers (gris clair). Ces observations confirment que les séquences « créatives » ou propositionnelles des arguments voir Comme ont des entrées plus graphiques tandis que les séquences « analytiques » ou critiques des arguments voir Que ont des entrées plus langagières.

MAIN : VOIR COMME/QUE	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	8	2	5	5	8	2	11	3	6	5	4	2	5	2	47,0	21,0	68,0	6,7	3,0	9,7	2,4	2,7	2,7
Commentaire sur dessin d'esq	10	6	4	11	4	9	2	9	5	4	6	9	1	8	32,0	56,0	88,0	4,6	8,0	12,6	2,9	2,3	3,1
Commentaire sans dessin d'es	3	5	0	2	1	2	0	1	1	1	2	4	1	0	8,0	15,0	23,0	1,1	2,1	3,3	1,1	1,8	1,5
sous-total	21	13	9	18	13	13	13	13	12	10	12	15	7	10	87,0	92,0	179	12,4	13,1	25,6	4,4	2,8	3,6

Figure 72 Résumé des scores d'arguments à la Main : totaux, moyenne, écarts-type

L'enjeu langagier est le soutien au changement de point de vue nécessaire à toute démarche de conception se prétendant critique. Il permet aussi d'éviter les fixations de conception (*Design fixation*). L'étude (Cardoso and Badke-Schaub, 2009)[601] montre que l'exclusion des images libère le langage et, peut-être, la pensée du concepteur lorsqu'elle restait « bloquée » sur une image. Grâce au langage, un combat argumentaire ou dialectique s'établit entre l'idée étudiée et ses alternatives, équilibre qui aide les concepteurs à rester ouverts aux alternatives tout en étudiant une idée particulière (Crilly, 2015, p. 75). Le graphique suivant Figure 73 expose les

[601] Cf. les section 2.2.6 traitant du rapport entre la fixation d'une idée et la considération accordée à ses alternatives et 2.2.7 traitant du rapport entre dessin et langage.

totaux des arguments Comme ou Que produits selon leur entrée, et permet de voir l'expression du dialectisme décrit par Goldschmidt dans l'alternance d'arguments Comme (rouge) marqués par les entrées graphiques et d'arguments Que (bleu), très marqué par les entrées langagières.

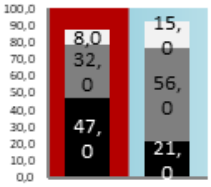


Figure 73 Graphique des scores d'arguments Comme et Que à la Main

Le tableau suivant Figure 74 présente en détail le relevé des arguments avec les indicateurs décomposant les résultats. On voit ainsi des disparités des scores d'arguments (colonne ***D***) où

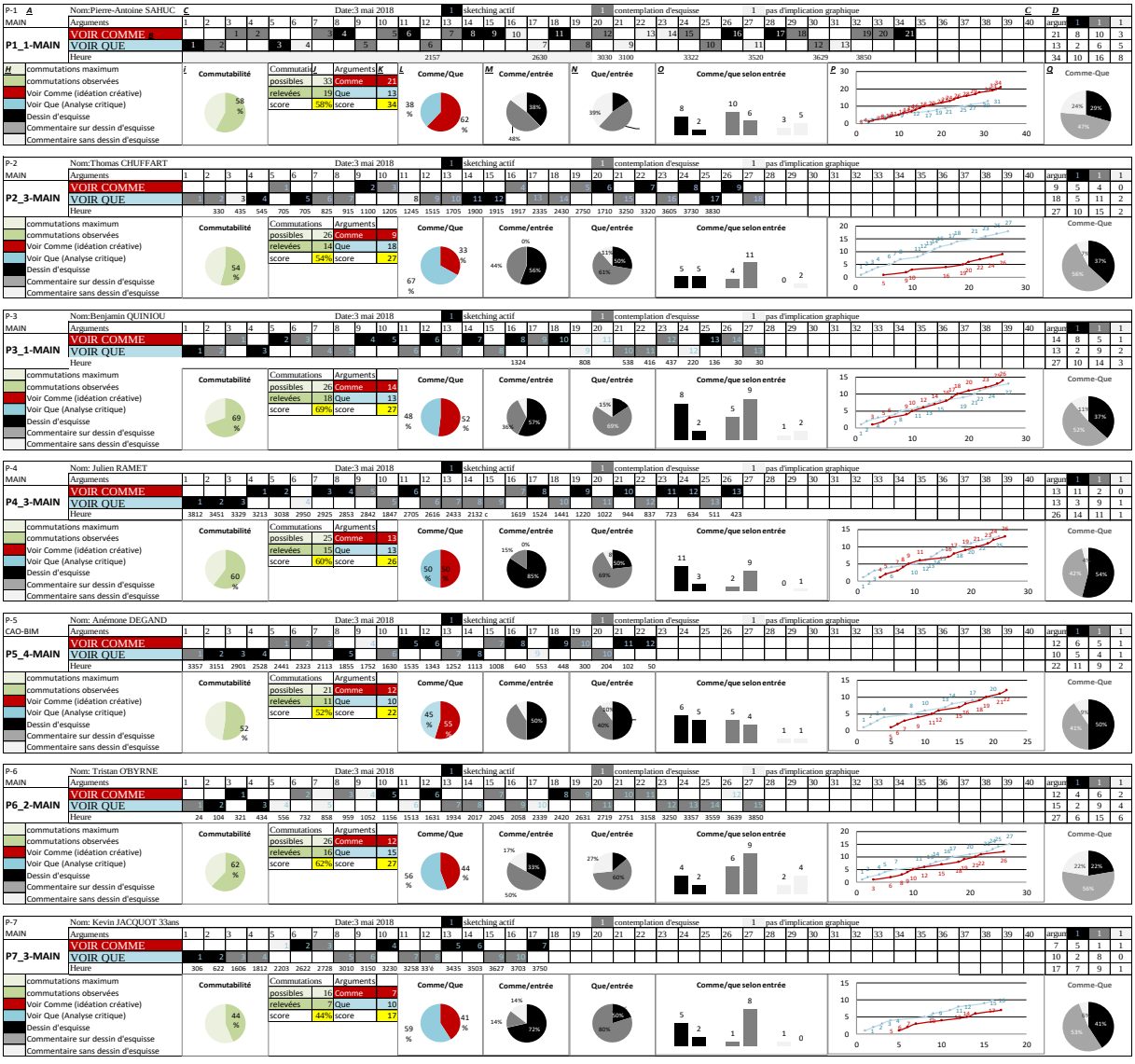


Figure 74 Grille annotative à la Main avec indicateurs

P1 produit 34 arguments contre 17 pour P7. On voit aussi des disparités de répartitions d'entrée entre Comme et Que (colonne ***Q***) où les arguments de P4 sont constitués à 54% d'entrées Dessin d'esquisse (noir) contre 22% seulement pour P6, participant volubile. Ces disparités s'expliquent essentiellement par les différences « naturelles » entre les participants qui, par ailleurs, n'ont pas semblés touchés par un effet de fatigue, étant habitués aux longues journées de travail. Nous n'excluons pas que le rythme soutenu de DialecBIM ait provoqué un surcroit de paroles, mais il est possible qu'un concepteur, lorsqu'il n'est pas seul, verbalise plus. DialecBIM a montré la prévalence des entrées « commentaire sur dessin d'esquisse » alliant artefact graphique et langage (gris foncé), renforçant l'idée que la dialectique de l'esquisse repose sur le couple image-langage. La modalité à la Main est la référence naturelle pour l'esquisse architecturale : c'est à cette modalité que nous comparerons les trois autres.

7.1.2. Grilles annotatives avec indicateurs en DAO

En réunissant les sept passations en DAO, nous observons visuellement l'alternance des arguments Comme et Que; nous pouvons aussi observer que les arguments Comme et Que sont plutôt graphiques (noirs) et semi-graphiques (gris foncé). Pour P5, P6, et P7, les entrées des arguments Comme sont nettement plus graphiques (noir). Nous voyons surtout un effondrement de la quantité d'arguments produits que nous commenterons dans le résumé section 7.1.6.

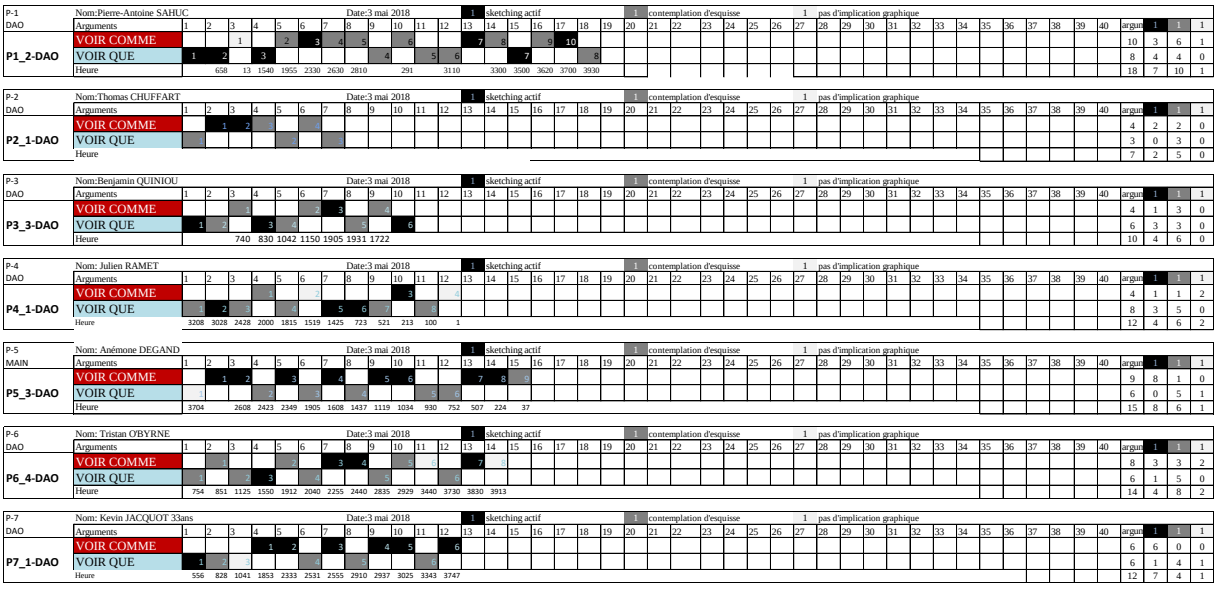


Figure 75 Grille annotative en DAO sans indicateurs

Selon le graphique Figure 76, la composition globale des arguments en DAO est proportionnellement comparable à la Main. Une légère différence apparait concernant les arguments purement langagiers (gris clair) en recul de 11% à 8% comparativement à la Main, ce qui serait imputable à la mobilisation cognitive requise par l'interface de DAO. Certains participants ont demandé confirmation que le recours au dessin à la main était définitivement proscrit, exprimant ainsi le besoin de trouver une expressivité graphique plus libre et rapide.

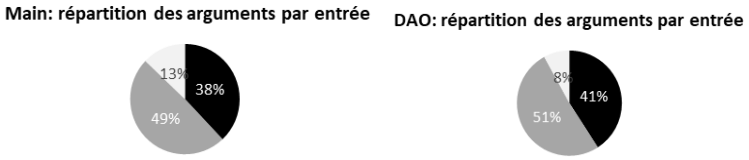


Figure 76 Comparaison de la répartition des arguments par entrée entre Main et DAO

Le tableau suivant Figure 77 discerne les arguments Comme (Comme) ou Que (bleu) pour déterminer la nature de leurs entrées (*input*) : graphiques (Dessin d'esquisse en noir), semi-graphiques (Commentaire sur dessin d'esquisse en gris foncé), ou langagières (Commentaire sans dessin d'esquisse). Outre l'équilibre entre les moyennes d'arguments Comme (6,4) et Que (6,1), nous observons que plus la moitié des arguments Comme (3,4 sur 5,1) sont d'entrée graphique (noir), et que plus de la moitié des arguments Que (4,1 sur 6,4) sont des entrées graphiques commentées (gris foncé) ; peu d'arguments sont purement langagiers (gris clair).

VOIR COMME/QUE DAO	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	3	4	2	0	1	3	1	3	8	0	3	1	6	1	24,0	12,0	36,0	3,4	1,7	5,1	2,6	2,3	2,3
Commentaire sur dessin d'esq	6	4	2	3	3	3	1	5	1	5	3	5	0	4	16,0	29,0	45,0	2,3	4,1	6,4	2,0	0,9	1,8
Commentaire sans dessin d'esc	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1	5,0	2,0	7,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,5	0,8
sous-total	10	8	4	3	4	6	4	8	9	6	8	6	6	6	45,0	43,0	88	6,4	6,1	12,6	2,6	1,7	2,1

Figure 77 Résumé des scores d'arguments en DAO: totaux, moyenne, écarts-type

Ces observations confirment que les séquences « créatives » et propositionnelles des arguments voir Comme ont des entrées plus graphiques (noir) tandis que les séquences « analytiques » ou critiques des arguments voir Que ont des entrées plus langagières. Le recours au langage permet de changer de point de vue et évite à l'architecte de rester bloqué sur une image, il soutient la dialectique. Nous voyons que le DAO, qui relève plus du principe de représentation que de la modélisation, n'entrave pas l'expression langagière qui reste proportionnellement constante. Mais il faut rappeler que deux fois moins d'arguments sont produits en DAO comparativement à la Main, ce qui semble être imputable à la charge cognitive qu'impose l'interface du logiciel, l'expressivité paraissant entravée par la lenteur d'utilisation du logiciel. Ce tableau est simplifié dans le graphique Figure 78 ci-dessous qui expose les totaux des arguments Comme ou Que produits selon leur entrée, il nous permet de voir l'expression du dialectisme décrit par Goldschmidt dans l'alternance d'arguments Comme en rouge, nettement marqués par les entrées « dessin d'esquisse » sans langage (noir), et d'arguments Que en bleu, plus nettement marqué par les entrées « commentaires sur dessin d'esquisse » (gris foncé).

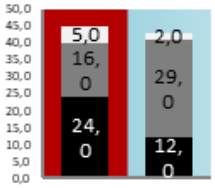


Figure 78 Graphique des scores d'arguments Comme et Que en DAO

Le tableau suivant Figure 79 présente en détail le relevé des arguments traduits en indicateurs décomposant les résultats. On voit ainsi les disparités des scores d'arguments (colonne ***D***) où P-1 produit 18 arguments contre 7 pour P-2. On voit aussi des disparités de répartitions d'entrée

entre Comme et Que (colonne ***Q***) où les arguments de P-6 sont constitués à 59% d'entrées Dessin d'esquisse (noir) contre 29% seulement pour P-7, participant plus silencieux. Ces disparités s'expliquent essentiellement par les différences « naturelles » entre les participants, qui n'ont pas paru fatigués. Nous n'excluons pas que le rythme soutenu de DialecBIM ait provoqué pour certains un surcroit circonstanciel de paroles, mais nous pensons aussi qu'un concepteur, lorsqu'il n'est pas seul, verbalise plus. DialecBIM a montré la prévalence des entrées « commentaire sur dessin d'esquisse » alliant artefact graphique et langage (gris foncé), renforçant l'idée que la dialectique de l'esquisse repose sur le couple image-langage.

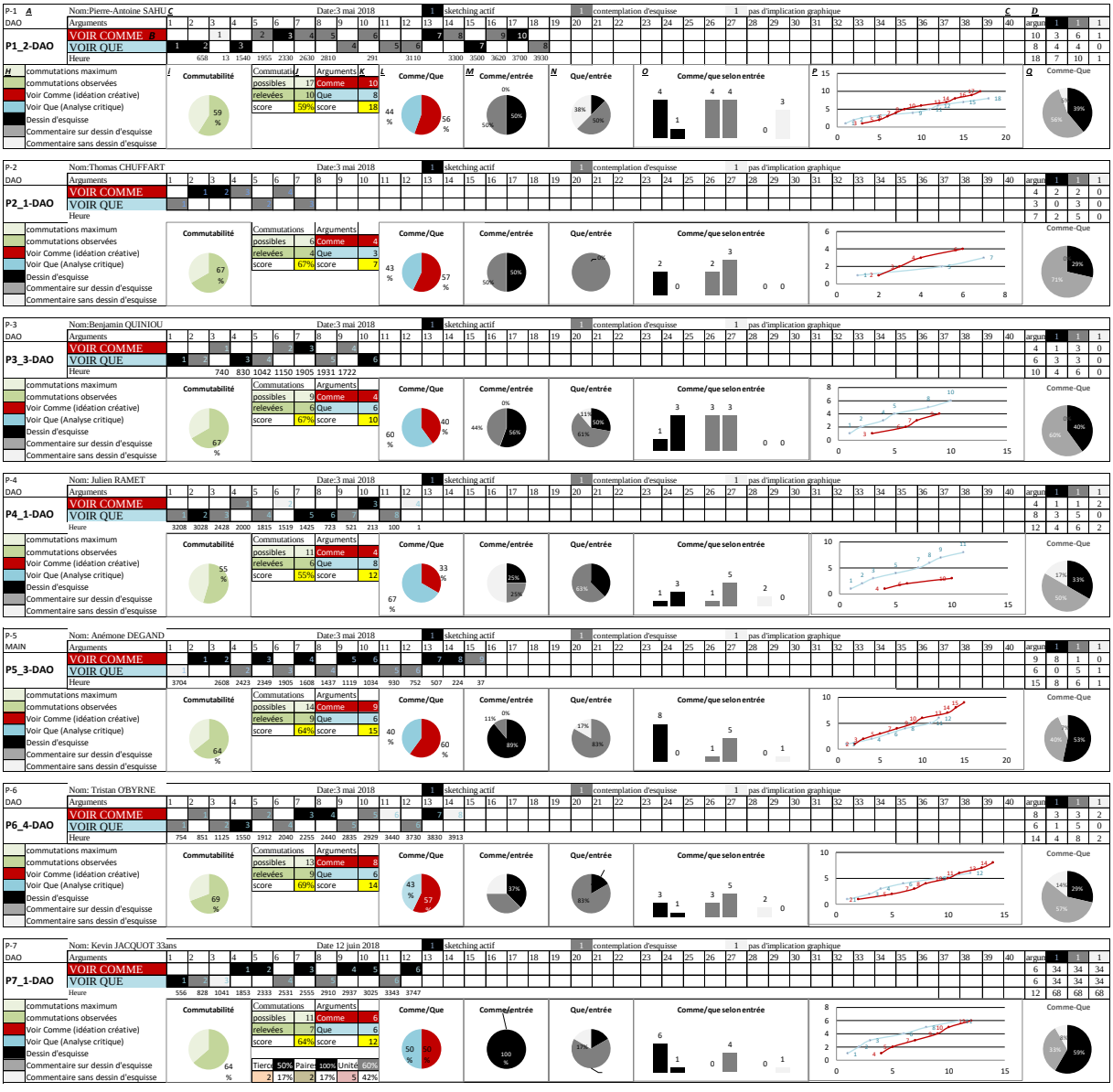


Figure 79 grilles annotatives monitorant le *sketching* en DAO avec indicateurs

7.1.3. Grilles annotatives avec indicateurs en CAO-BIM

En réunissant les sept passations en CAO-BIM, nous observons visuellement l'alternance des arguments Comme et Que (Cf. tableau Figure 80); nous pouvons aussi observer que les

arguments Comme sont plutôt visuels (noirs) tandis que les arguments Que semblent plus langagiers (gris foncé ou clair), mais dans des proportions qui ne sont pas comparables avec la Main ou le DAO. Une nette recrudescence d'entrées purement graphiques (noir) est observable, culminant à 54% (Cf. Figure 81). Comme en DAO, nous voyons un effondrement de la quantité d'arguments que nous commenterons dans la synthèse section 7.1.6.

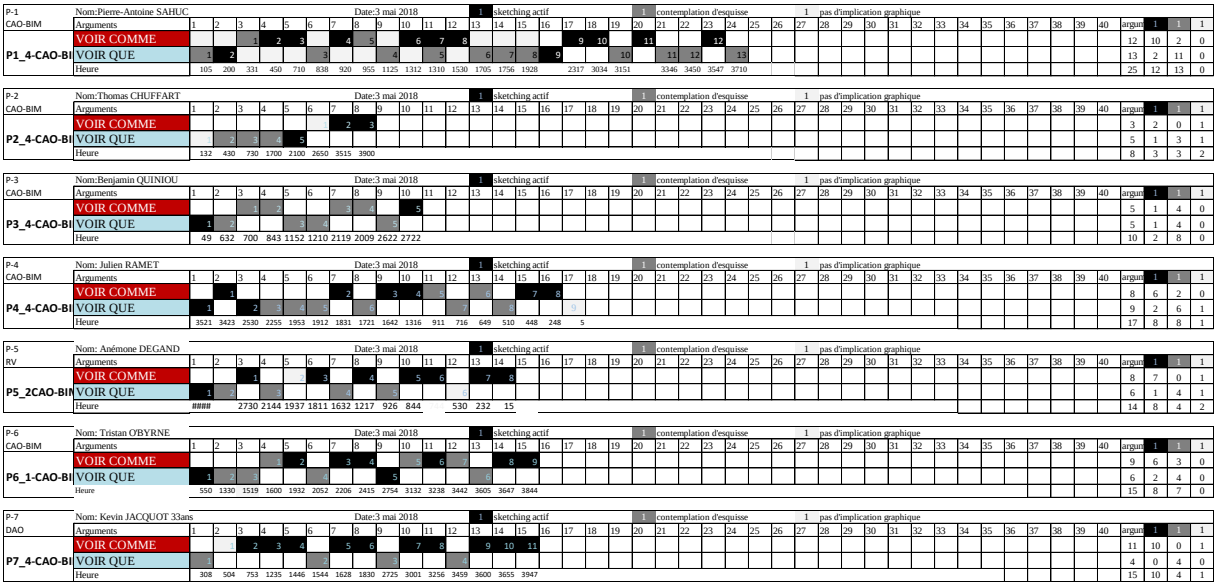


Figure 80 Grille annotative en CAO-BIM sans indicateurs

La composition globale des arguments en CAO-BIM, comparativement à nos passations en DAO, diffère : plus de la moitié des arguments Comme est composée d'entrées graphiques (noir). Comme en DAO, les arguments purement langagiers (gris clair) sont en recul de 11% à 8% comparativement à la Main, ce qui est imputable à la mobilisation cognitive requise par l'interface de CAO-BIM. Certains participants ont demandé confirmation que le dessin à la main était proscrit, exprimant ainsi le besoin de trouver une expressivité graphique plus libre et plus rapide. Cette recrudescence d'entrées graphiques (dessin d'esquisse en noir) à 54% pourrait être un effet du principe de modélisation caractéristique de la CAO-BIM.

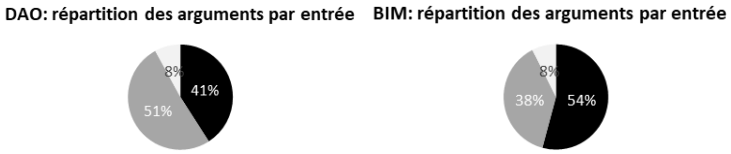


Figure 81 Comparaison de la répartition des arguments par entrée entre DAO et CAO-BIM

Nous suggérons que la modélisation BIM pourrait capter l'attention en la centrant sur l'objet qu'est le modèle. Il est possible que le caractère littéral[602] de la modélisation BIM, qui ne se prête pas aux traductions constructives (Evans, 1986), défavorise les entrées plus langagières et favorise les entrées visuelles et les fixations de conception conséquentes. Nous évoquons aussi le caractère contraignant de l'outil CAO-BIM fondé sur des classes d'objets graphiques

[602] (Girard, 2014a, p. 251.252) et sections 4.1.2 et 4.1.3

et modélisés qui, selon certains, entrave l'expression graphique libre. Des reproches ont été formulés par des participants, qui ont pu être gênés par l'interface (P-7), ou gênés par l'exhaustivité et le niveau de détail jugés excessifs ; la modélisation BIM pousserait à peaufiner exagérément, « comme en DCE[603] ». L'outil est jugé « peu adapté pour l'esquisse » (P-5), ou jugé inappropriable, sauf à pouvoir se créer un mode d'annotation et des raccourcis clavier propres (P-2), ou occasionnant une perte de repère qui fait perdre du temps (P-2). Parfois, le nuage de points que nous avions fourni a été désactivé car il aurait trop sollicité les ressources de la machine (P-1). Nous suggérons que l'interface du logiciel de modélisation BIM participe à la mobilisation excessive de l'attention du concepteur (e.g. le raisonnement logique, la mémoire de travail, la cognition visuelle) et rend sa cognition trop visuelle et insuffisamment langagière pour soutenir un dialectisme, nous proposons de fixation d'interface. Le tableau suivant (Cf. Figure 82) discerne les arguments Comme (bleu) ou Que (bleu) pour déterminer la nature de leurs entrées (*input*) qui sont graphiques (dessin d'esquisse en noir), semi-graphiques (commentaire sur dessin d'esquisse en gris foncé), ou langagières (commentaire sans dessin d'esquisse). Contrairement aux modalités Main et DAO, un déséquilibre notable entre les moyennes d'arguments Comme en rouge (8) et Que en bleu (5,4) apparait. Ce déséquilibre semble imputable à la moyenne anormalement élevée d'arguments Comme (6) d'entrée graphique (noir), proportionnellement deux fois plus que pour les autres modalités. Nous avions observé que les arguments sont normalement deux fois plus nombreux en entrées graphiques (Dessin d'esquisse en noir) qu'en entrées semi-graphiques (gris foncé). Or, en CAO-BIM, leur nombre est quadruplé avec une moyenne de 6 entrées en Dessin d'esquisse (noir) contre une 1,3 entrées Commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé).

VOIR COMME/QUE CAO-BIM	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	10	2	2	1	1	1	6	2	7	1	6	2	10	0	42,0	9,0	51,0	6,0	1,3	7,3	3,5	3,5	3,5
Commentaire sur dessin d'esqu	2	0	0	3	4	4	2	6	0	4	3	4	0	4	11,0	25,1	36,1	1,6	3,6	5,2	1,6	1,8	1,9
Commentaire sans dessin d'esc	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	3,0	4,0	7,0	0,4	0,6	1,0	0,5	0,5	0,5
sous-total	12	2	3	5	5	5	8	9	8	6	9	6	11	5	56,0	38,1	94	8,0	5,4	13,4	3,2	2,0	2,9

Figure 82 Résumé des scores d'arguments en CAO-BIM : totaux, moyenne, écarts-type

Ce pic d'entrée graphiques (Dessin d'esquisse en noir) traduit un déficit d'expressivité langagière de la modalité CAO-BIM ; le surcroit d'arguments Comme signifierait que, pour exprimer une idée en CAO-BIM, les participants ont dû augmenter considérablement leurs efforts de formalisation au détriment d'expressions plus langagières. La possibilité de changer de point de vue grâce au langage est diminuée, exposant l'architecte à la fixation sur une image. Nous voyons que la modalité CAO-BIM qui relève plus de la modélisation que de la représentation du projet, entrave l'expression langagière qui reste proportionnellement faible. Nous suggérons que la modélisation BIM, en privilégiant l'image sur le langage, tend à renforcer les fixations de conception (*design fixation*) (Cardoso and Badke-Schaub, 2009)[604], et n'incite pas le participant à envisager des idées alternatives. L'équilibre dialectique entre

603 Dossier de consultation des entreprises, phasesd'un haut niveau de détails
604 Cf. les section 2.2.6 traitant du rapport entre la fixation d'une idée et la considération accordée à ses alternatives et 2.2.7 traitant du rapport entre dessin et langage et (Cardoso and Badke-Schaub, 2009)

l'idée étudiée et ses alternatives (Crilly, 2015, p. 75) est rompu. Nous suggérons également que la modalité CAO-BIM renforce ce que nous avons appelé une fixation d'interface où l'attention du concepteur est détourné de son travail par son outil, comparativement à d'autres modalités plus affordantes et transparentes comme la Main. Le graphique suivant Figure 83 expose les totaux des arguments Comme ou Que produits selon leur entrée, il nous permet de voir à droite le net surcroit d'entrées graphiques (noir) pour les arguments Comme en CAO-BIM.

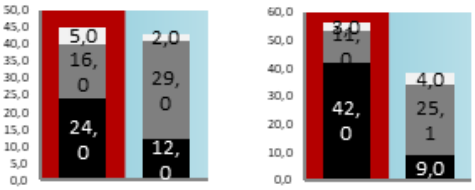


Figure 83 Graphique des scores d'arguments Comme et Que en DAO à gauche et CAO-BIM à droite

Le tableau suivant (Figure 84) présente en détail le relevé des arguments traduits en indicateurs décomposant au cas par cas les résultats. On voit ainsi des disparités des scores d'arguments (colonne ***D***) où P-1 produit 25 arguments contre 8 pour P-2, les deux sont très expérimentés mais P2 semble avoir décidé de l'inanité de la CAO-BIM pour les tâches de conception créative. On voit à nouveau la prévalence des entrées graphiques (Dessin d'esquisse en noir) pour les arguments Comme (colonne ***M***) qui montre l'étiolement du recours au langage pour les arguments « créatifs ». On voit aussi des disparités de répartitions d'entrée entre Comme et Que (colonne ***Q***) qui montre qu'aucun participant n'a fait comme les autres, ce qui peut laisser croire que les problèmes rencontrés face à l'interface du logiciel CAO-BIM sont différents. Ces disparités peuvent s'expliquer par les différences « naturelles » entre les participants, et il n'a pas semblé qu'en effet de fatigue touche les participants, habitués aux longues journées de travail. En CAO-BIM, il apparait clairement que les participants ont rencontré des difficultés à trouver une formalisation satisfaisante de leurs idées, les arguments Comme étant anormalement constitués d'entrées graphiques (noir), au détriment du langage, ce qui peut traduire un problème d'expressivité mais aussi une fixation de conception doublée d'une fixation d'interface. Conséquemment, notons en CAO-BIM un effondrement des arguments purement langagiers que nous attribuons encore à la grande mobilisation cognitive requise par l'outil de CAO-BIM. Quarante minutes de passation permettent aux participants de produire en moyenne quinze arguments, soit un score proche de la DAO qui est réduit de près de la moitié par rapport à la main. Notons, plus qu'en DAO, un effondrement des arguments purement langagiers. Nous lions ces résultats à nos critiques de la modélisation BIM prise dans la course marketing des éditeurs (Cf. section 3.1) pour expliquer la non affordance des logiciels, bouleversant l'organisation par l'injonction à l'interopérabilité (Cf. section 3.2) pour expliquer la remise en cause du rôle majeur de l'architecte, focalise l'attention sur le modèle 3D et éradique les traductions constructives, le principe de modélisation supplantant celui de représentation (Cf. section 3.3) pour expliquer que le temps créatif est déconsidéré. Nous avons aussi critiqué la consensualité et l'a-dialectisme de la modélisation BIM (Cf. section 4.1) pour expliquer la difficulté de développer des points de vue alternatifs et contradictoires et la marche

forcée imposée par le BIM (Cf. section 4.2) expliquant qu'il convient plus aux phases descriptives et prescriptives qu'à la phase créative ou générative du processus de conception car il est trop pressant, il provoque des fixations de conception et d'interface, et il oppose à toute contestation sa « monumentalité ».

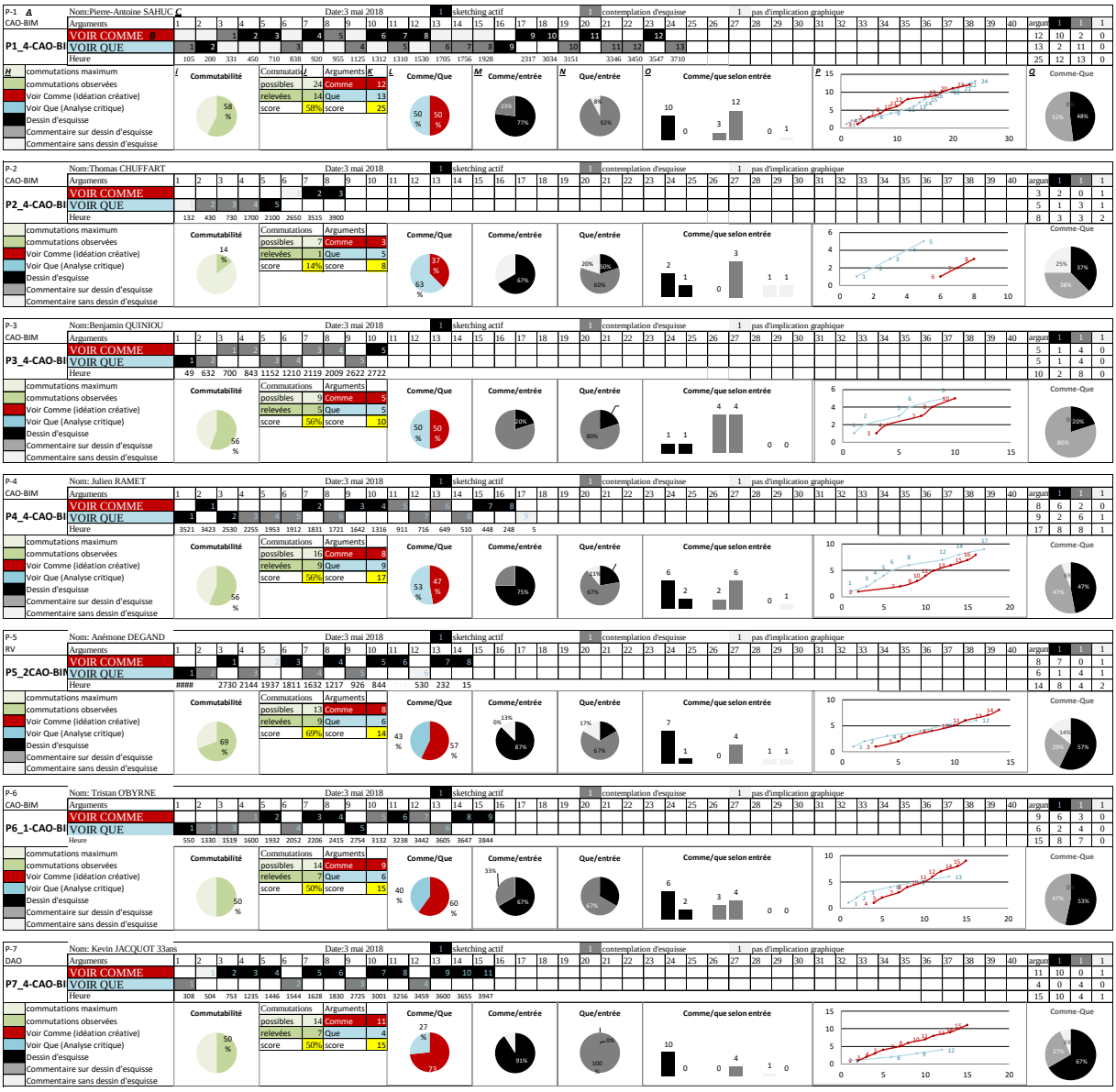


Figure 84 grilles annotatives monitorant le *sketching* en CAO-BIM avec indicateurs

7.1.4. Grilles annotatives avec indicateurs en RV-*VAirDraw*

En réunissant les sept passations en RV avec la modalité de dessin spatialisé *VAirDraw*[605], nous observons visuellement l'alternance des arguments Comme et Que ; nous pouvons aussi observer que les arguments Comme sont plutôt visuels (noirs) tandis que les arguments Que semblent plus langagiers (gris foncé ou clair), mais dans des proportions qui ne sont pas

[605] Cf. sections 6.2 et 6.3.5

comparables avec la Main ou la DAO : un niveau élevé d'entrées purement graphiques (dessin d'esquisse, en noir) est observable (Cf. Figure 85) sur lequel nous reviendrons. Nous voyons un très haut niveau de production d'arguments qui est comparable à la Main et que nous commenterons dans le résumé section 7.1.6. Ce constat constitue la plus grande surprise des résultats récoltés car rien ne laissait présager que cette modalité découverte au moment des passations et multipliant les contraintes (e.g. station verticale, position haute du bras, poids du casque, entrave des câbles, etc.) performerait autant que la modalité consacrée (Main).

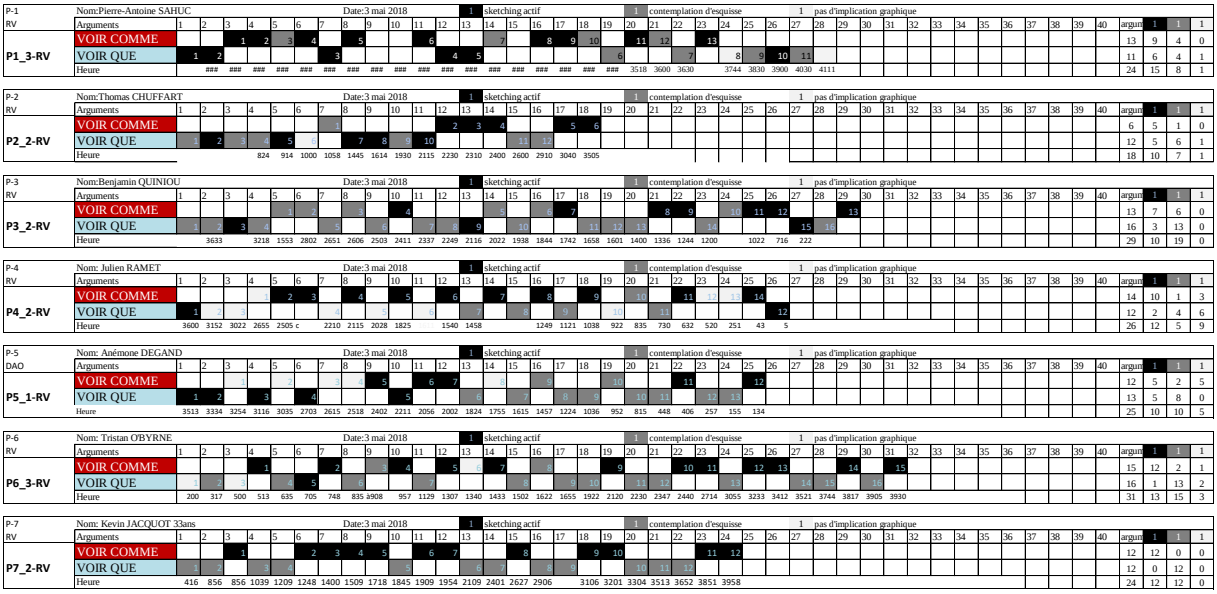


Figure 85 Grille annotative en RV sans indicateurs

La composition globale des arguments en RV, comparativement aux autres modalités, apparait particulièrement équilibrée. Elle se rapproche de celle de la CAO-BIM par une proportion d'arguments dominée par les entrées graphiques à 46% (noir) tout en présentant un niveau important d'argument d'entrées semi-graphique à 42 % (gris foncé), ce qui montre que l'image ne supplante pas le langage en RV. Concernant les arguments purement langagiers (gris clair) la proportion est soutenue à 12% est comparable à la Main, ce qui est un deuxième signe que la modalité RV n'est pas défavorable à l'expression langagière.

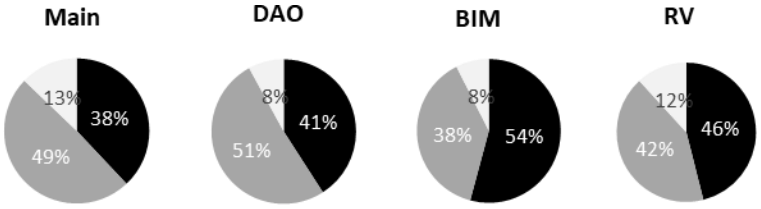


Figure 86 Comparaison de la répartition des arguments par entrée entre Main, DAO, CAO-BIM et RV à droite.

Des remarques ont été formulées par les participants. La modalité en RV avec le dessin spatialisé *VAirDRAW*, a été jugée facile à prendre en main et affordante (P1), la bonne appréhension des échelles a été relevée (P2), ainsi que la bonne appréhension des points de vue et des alignements (P3) ; le dispositif de dessin spatialisé a été jugé adapté pour l'esquisse

urbaine (P3) ; la possibilité de comparer le modèle 3D aux plans consultable dans le casque RV a été relevée (P4, P7) ; le plaisir du dessin a été souvent cité, surtout par (P4) qui a une activité de « grapheur », qui a relevé une bonne perception des *landmarks* (P4), et d'autres ont jugé disposer d'une bonne perception de détails qui seraient passé inaperçus autrement (P-6, P-7). Inversement, des reproches ont été formulés concernant le modèle photogrammétrique, notamment l'impossibilité d'excaver ou de couper le modèle (P-1, P-7), ainsi que le faible niveau de détail du modèle (P-1). Le besoin d'écrire a été formulé, ce que *VAirDRAW* n'interdit pas mais qui pourrait être amélioré (P-1, P-2). Il a été reproché de ne pas pouvoir poser la main et le coude pour prendre appui pour dessiner (P-1) ce qui, selon nous, pourrait améliorer la précision du trait. Le besoin de dipsoser d'une gomme a été exprimé (P-1) et régulièrement suggéré, ainsi que le besoin de calculer de surfaces (P-2), et le besoin de dessiner un dessin en coupe « en l'air » (P-3). Le besoin de pouvoir copier-coller une forme dessinée existante (P-4) a été exprimé moins formellement mais régulièrement, le besoin de pouvoir dessiner par calques affichables (P-6) a été exprimé à la marge, ainsi que le besoin de pouvoir retirer certains éléments (e.g arbres occultants) (P-7). Dans l'ensemble, la modalité d'esquisse par le dessin spatialisé en RV a paru performante, les participants s'appropriant facilement l'outil de dessin et, de ce que nous avons pu observer, ont semblé plutôt très inspirés par le modèle 3D photogrammétrique ou « photo-sourcé », conformément aux prescriptions de (Schnabel et al., 2007, p. 12) [606]. En outre, la parole a semblé libérée par la modalité de façon relativement comparable à la Main. Le tableau suivant (Cf. Figure 87) discerne les arguments Comme (bleu) ou Que (bleu) pour déterminer la nature de leurs entrées (*input*) qui sont graphiques (dessin d'esquisse en noir), semi-graphiques (commentaire sur dessin d'esquisse en gris foncé), ou langagières (commentaire sans dessin d'esquisse). Conformément aux modalités précédentes hors CAO-BIM, nous observons un certain équilibre entre les moyennes d'arguments Comme (12,1) et Que (13,3). Un déséquilibre est notable concernant la moyenne anormalement élevée d'arguments Que ayant une entrée en Commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé), soit 8,4 arguments, ce qui est proportionnellement deux fois plus que pour les autres modalités. Habituellement, nous avions effectivement observé que les arguments Que (bleu) sont normalement constitués de deux fois plus d'entrées semi-graphiques (gris foncé) que les arguments Comme (rouge). Or, dans le cas de la RV, cette proportion d'entrées semi-graphiques (gris foncé) est quadruplée, soit 8,4 arguments Que contre 2,3 arguments Comme. Dans une moindre mesure, concernant les entrées purement graphiques (noir), le rapport habituellement double entre les arguments Comme et Que d'entrée Dessin d'esquisse (noir) devient triple (8,6 pour les arguments voir Comme contre 3,1 pour les arguments voir Que. Pourquoi la modalité RV est-elle particulièrement graphique pour les arguments Comme ? Et pourquoi est-elle plutôt semi-graphique et langagière pour les arguments voir Que ?

[606] Cf. section 2.3.4, et Figure 10, (Kanade et al., 1995, pp. 5–6)

VOIR COMME/QUE RV	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	9	6	5	5	7	3	10	2	5	5	12	1	12	0	60,0	22,0	82,0	8,6	3,1	11,7	3,0	3,8	3,8
Commentaire sur dessin d'esq	4	4	1	6	6	12	1	4	2	8	2	13	0	12	16,0	59,0	75,0	2,3	8,4	10,7	2,1	3,9	4,4
Commentaire sans dessin d'esq	0	3	0	1	0	0	3	6	5	0	1	2	0	0	9,0	12,0	21,0	1,3	1,7	3,0	2,0	2,2	2,0
sous-total	13	13	6	12	13	15	14	12	12	13	15	16	12	12	85,0	93,0	178	12,1	13,3	25,4	2,9	1,6	2,3

Figure 87 Résumé des scores d'arguments en RV: totaux, moyenne, écarts-type

Le pic d'entrées semi-graphiques (gris foncé) observé pour les arguments Que (bleu) traduirait un surcroit d'expression langagière commentant des artefacts graphiques dans les phases d'analyse et d'observation. Il semble raisonnable d'imputer ce phénomène à l'effet de découverte de la modalité d'esquisse qui a pu susciter surprises et interrogations. Aussi, le modèle photogrammétrique semble stimuler la parole, offrant nombres d'informations se trouvant à portée de bras. Les points de vue inédits offerts par la RV sur le site entrainent des attitudes de conception apparemment plus disputées, plus dialectiques mais aussi des stimulations liées aux changements de point de vue pour l'analyse du site. De même, le pic d'entrées graphiques (noir) pour les arguments Comme traduit un surcroit d'expressions graphiques en dessin spatialisé matérialisant des modifications (suppression de bâtiments, dévoiements de voiries, etc.) ou des propositions d'aménagements divers, c'est-à-dire que le dessin spatialisé en EV avec un modèle photogrammétrique donnerait envie d'en faire plus que demandé. Si le dessin spatialisé prend plus de temps que le dessin à la Main, il est apparu facile à apprendre et à utiliser, et expressif à plat sur le sol du modèle ou en volume. Ajouté à l'effet d'immersion dans le site grâce à la RV, le dessin spatialisé semble présenter des qualités dialectiques originales qui performent différemment que la modalité de référence, la Main. A la différence de la Main, les interactions entre Comme et Que sont peut-être moindre, comme semble l'indiquer la moindre proportion de commutations que nous verrons dans la section 7.3. Nous considérons quand même que la modalité d'esquisse en RV, en alternant les recours à l'image et au langage, aide à l'analyse critique et aux changements de points de vue, tend à éviter les fixations de conception (*design fixation*)[607], soutient les idées alternatives sans empêcher le développement d'une idée donnée. En s'affranchissant de cette référence à la Main, on peut valoriser la RV avec dessin spatialisé comme une modalité supplémentaire offrant d'autres atouts que la Main, notamment d'être particulièrement adaptée au travail sur un contenu 3D, un modèle photogrammétrique, BIM ou autre, ce qui semble être son atout principal. Nous suggérons que la modalité RV parait être un *medium* affordant qui ne renforce pas ce que nous pourrions appeler une fixation d'interface. La modalité RV semble adaptée aux tâches créatives, laissant l'attention du participant se porter sur le contenu architectural et surtout contextuel. Le graphique suivant résume les totaux des arguments Comme ou Que produits selon leur entrée, et permet de voir la nette prévalence des entrées graphiques (noir) pour les arguments Comme et celle, particulièrement nette, des entrées commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé) pour les arguments Que en RV.

[607] Cf. les section 2.2.6 traitant du rapport entre la fixation d'une idée et la considération accordée à ses alternatives et 2.2.7 traitant du rapport entre dessin et langage et (Cardoso and Badke-Schaub, 2009)

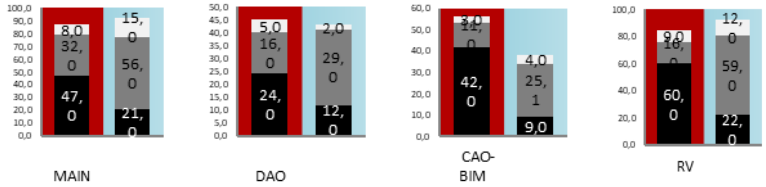


Figure 88 Graphique des scores d'arguments Comme et Que

Le tableau suivant (Figure 89) présente en détail le relevé des arguments traduits en indicateurs décomposant les résultats.

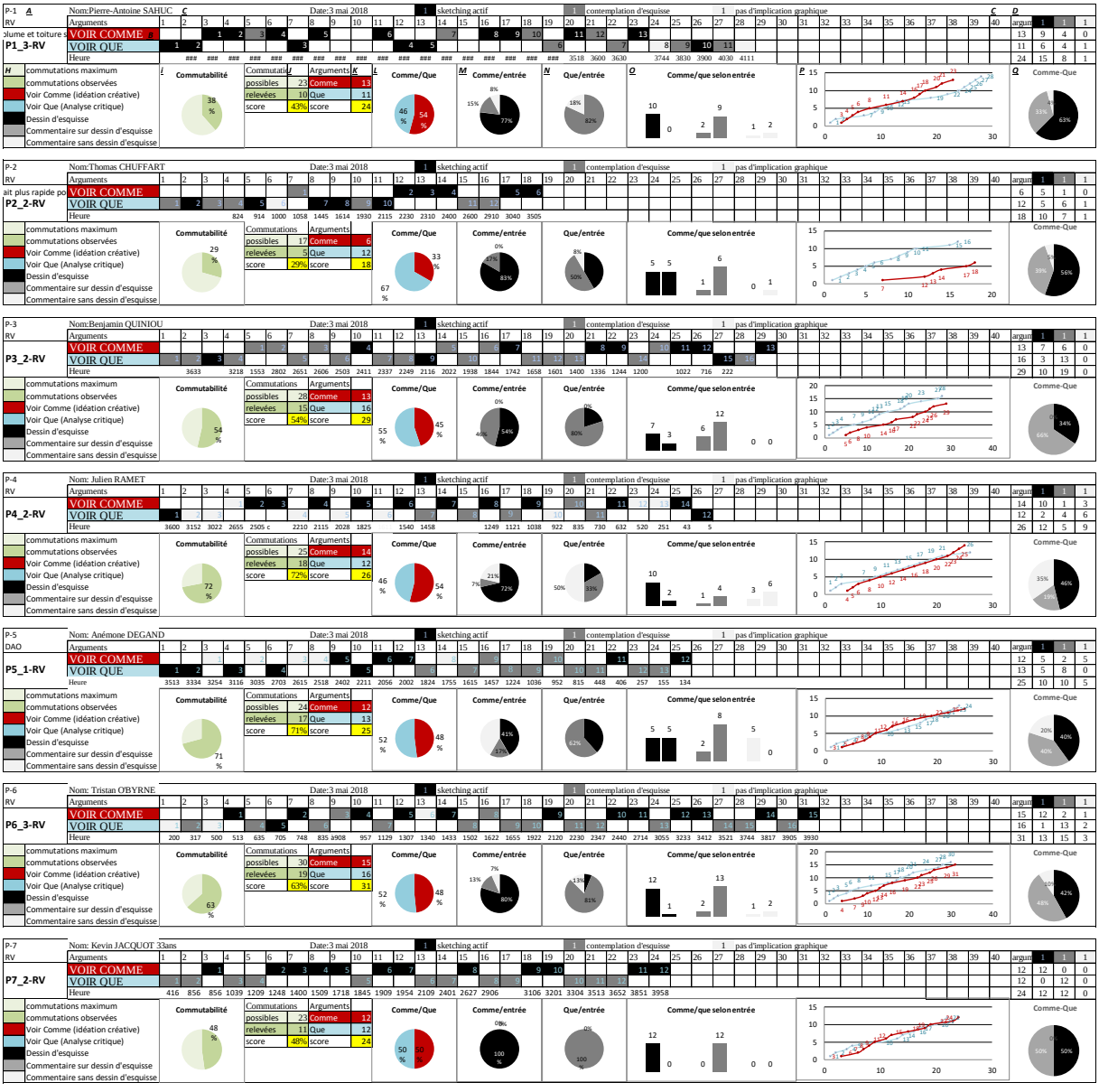


Figure 89 grilles annotatives monitorant le *sketching* en RV sur *VAirDraw* avec indicateurs

On y voit des disparités de scores d'arguments (colonne ***D***) où P-6 produit 31 arguments contre 8 pour P-2. On voit encore la prévalence des entrées graphiques (Dessin d'esquisse en noir) pour les arguments Comme (colonne ***M***) qui montre le recours au dessin spatialisé (noir) pour les arguments « créatifs ». On voit aussi des disparités de répartition d'entrées entre Comme et Que (colonne ***Q***) montrant qu'aucun participant n'a fait comme les autres, ce qui peut laisser croire que les usages de la RV sont différents. Ces disparités peuvent s'expliquer par les différences « naturelles » entre les participants, qui n'ont pas semblé touchés par un effet de fatigue, bien que cette modalité soit une découverte imposant ses contraintes (e.g. la station verticale et les mouvements de bras, le port du casque, etc.). La modalité en RV sur *VAirDraw* obtient des résultats relativement comparables à la Main qui est la référence. Il apparait clairement que les participants ont pu trouver une formalisation différente mais satisfaisante de leurs idées, les arguments ont pu s'appuyer autant sur l'image (voir Comme) que sur le langage (voir Que), ce qui peut traduire une expressivité et un niveau de dialectisme satisfaisants. Le dessin spatialisé semble convenir à l'expression d'idées basées directement sur un contenu 3D, qu'il s'agisse d'une ville (e.g. photogrammétrie urbaine) ou d'un projet architectural (e.g modélisation BIM). Quarante minutes de passation produisent en moyenne vingt-six (Cf. Figure 72) arguments, score identique à la Main qui laisse augurer de meilleures performances sitôt que des améliorations seront apportées à la modalité RV. Toutes proportions gardées, ces résultats corroborent ceux de Dorta qui a obtenu avec son HIS (préfigurant Hyve-3D) en idéation en EV des résultats comparables à ceux classiquement obtenus à la main.

7.1.5. Analyse des arguments par Tierce, Paires et Unités

Nous tentons de discerner un *pattern* significatif dans la composition d'arguments dans le tableau suivant. Ceux-ci sont décomptés et identifiés selon qu'ils se suivent unilatéralement en triples (tierce)(saumon), doubles (paires)(kaki) ou seuls (unités)(rose).

TIERCE D'ARGUMENTS Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV
MAIN		8	5	6	4	5	8	4	5,71	1,58
DAO		6	1	2	2	3	3	2	2,71	1,48
CAO-BIM		6	1	3	4	4	4	4	3,71	1,39
RV		7	4	6	4	6	8	7	6	1,41
PAIRES D'ARGUMENTS Qté	**P0**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**MOYE**	**STDV**
MAIN		7	3	6	3	5	5	4	4,71	1,39
DAO		4	0	2	0	3	3	2	2	1,41
CAO-BIM		4	0	4	1	4	3	2	2,57	1,5
RV		4	2	4	0	5	7	7	4,14	2,36
UNITE D'ARGUMENT Qté	**P0**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**MOYE**	**STDV**
MAIN		10	9	12	10	5	10	2	8,29	3,24
DAO		6	4	6	2	6	7	5	5,14	1,55
CAO-BIM		7	0	2	7	6	3	4	4,14	2,47
RV		7	1	8	16	12	11	3	8,29	4,83

Meilleur score pour le participant
Meilleur score

Figure 90 Décompte du nombre de Tierces, Paires et Unités d'arguments

Les modalités Main et RV produisent deux fois plus d'arguments mais, en moyenne pondérée, il n'apparaît pas de résultat quantitatif significatif. Les mêmes données recompilées par

modalité d'esquisse (Cf. Figure 91) permettent de présenter la répartition des arguments en pourcentage des Tierces, paires ou unité. Il apparait alors que la répartition présentée par la Main et la RV sont semblables, les arguments isolés (Unités) représentent 44% et 45%, l'argument isolé précédent un argument opposé est corrélable au taux de commutation que nous verrons dans la section suivante. De même, le haut taux d'arguments isolés en DAO (52%) peut être corrélé au haut score de commutation (65%) en DAO (Cf. section suivant 7.2.1 Figure 103). Inversement, le faible taux d'arguments isolés en CAO-BIM (39%) peut être corrélé au faible score de commutation en CAO-BIM (48%), cette modalité pouvant entrainer des fixations.

MAIN	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
TIERCE D'ARGUMENTS Qté		8	5	6	4	5	8	4	5,71	1,53	31%
PAIRES D'ARGUMENTS Qté		7	3	6	3	5	5	4	4,71	1,46	25%
UNITE D'ARGUMENT Qté		10	9	12	10	5	10	2	8,29	2,13	44%

DAO	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
TIERCE D'ARGUMENTS Qté		6	1	2	2	3	3	2	2,71	1,57	28%
PAIRES D'ARGUMENTS Qté		4	0	2	0	3	3	2	2	1,53	20%
UNITE D'ARGUMENT Qté		6	4	6	2	6	7	5	5,14	1,67	52%

CAO-BIM	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
TIERCE D'ARGUMENTS Qté		6	1	3	4	4	4	4	3,71	1,49	35%
PAIRES D'ARGUMENTS Qté		4	0	4	1	4	4	2	2,71	1,67	26%
UNITE D'ARGUMENT Qté		7	0	2	7	6	3	4	4,14	2,67	39%

RV	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
TIERCE D'ARGUMENTS Qté		7	4	6	4	6	8	7	6	1,46	33%
PAIRES D'ARGUMENTS Qté		4	2	4	0	5	7	7	4,14	2,21	22%
UNITE D'ARGUMENT Qté		7	1	8	16	12	11	3	8,29	4,67	45%

Figure 91 Décompte par modalité du nombre de Tierces, Paires et Unités d'arguments

Le décompte des arguments selon leur regroupement par tierce, paire ou unité apporte peu d'éclairage sur ce critère, hormis que la Main et la RV ont des répartitions comparables. Une autre approche basée sur les qualités des entrées est possible. La tableau Figure 92 synthétise la valeur dominante des entrées des Tierces, Paires et Unités d'arguments qui sont graphiques (noir), graphiques commentées (gris foncé) ou commentaires (gris clair).

Input d'arguments: MAIN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	63%	53%	61%	50%	60%	46%	50%
Paires	43%	67%	58%	83%	70%	70%	88%
Unité	17%	11%	67%	50%	40%	50%	100%
Input d'arguments: DAO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	39%	67%	67%	50%	56%	44%	50%
Paires	50%	0%	50%	0%	67%	50%	100%
Unité	50%	100%	50%	50%	50%	86%	60%
Input d'arguments: CAO-BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	56%	33%	89%	58%	58%	58%	58%
Paires	50%	0%	88%	100%	75%	83%	100%
Unité	71%	0%	50%	57%	50%	67%	100%
Input d'arguments: RV	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	57%	33%	61%	50%	50%	42%	67%
Paires	63%	50%	50%	0%	60%	57%	57%
Unité	57%	100%	75%	44%	42%	55%	67%

Dessin d'esquisse
Commentaire sur dessin d'esquisse
Commentaire sans dessin d'esquiss

Figure 92 Synthèse des qualités d'entrée d'argument

Il semble ressortir de ce tableau que la Main, qui est la modalité de référence, permet la production d'arguments architecturaux plus langagiers comme l'indique la dominante grise

foncée valant pour les arguments d'entrée Commentaire sur dessin d'esquisse ; nous pourrions y voir la confirmation que la faible charge cognitive du dessin d'esquisse à la Main libère, en quelque sorte, la parole des participants. Le tableau suivant Figure 93 permet d'observer l'entrée des arguments isolés, ou Unité, supposant ces arguments isolés sont des indicateurs du degré de changements de point de vue, soit les commutations supportant le dialectisme.

MAIN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
	2	3	3	4	1	2	2	2,43	0,98	30%
	6	4	6	5	2	4	0	3,86	2,19	48%
	3	0	3	1	2	3	0	1,71	1,38	21%

DAO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
	2	0	1	1	2	0	2	1,14	0,9	22%
	3	4	3	3	3	6	3	3,57	1,13	68%
	1	0	0	2	1	0	0	0,57	0,79	11%

BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
	2	0	1	4	1	1	0	1,29	1,38	29%
	5	0	1	5	2	2	4	2,71	1,98	61%
	0	0	0	1	2	0	0	0,43	0,79	10%

RV	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV	%
	4	0	2	7	5	5	2	3,57	2,37	43%
	3	1	6	5	4	6	1	3,71	2,14	45%
	0	0	0	4	3	0	0	1	1,73	12%

Figure 93 Répartition des entrées d'arguments isolés (Unité) par modalité d'esquisse

Observer les arguments au seul « grain » des arguments isolés (Unité), permet de dégager la forte similitude entre DAO et CAO-BIM, constituées au deux-tiers d'entrées en Commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé) respectivement à 68% et 61% (Orange en Figure 93). Cela semble traduire l'entrave causée par ces modalités sur l'expressivité imagière ou langagière, obligeant à mélanger les deux. La focalisation sur l'argument isolé permet aussi d'observer que la Main est comparativement moins graphique (30%) que la RV (43%) (Jaune en Figure 93) et plus langagière (21%) que la RV (12%) (rose en Figure 93). La transparence de la modalité d'esquisse Main qui, en se faisant oubliée, permettrait une plus grande expressivité langagière.

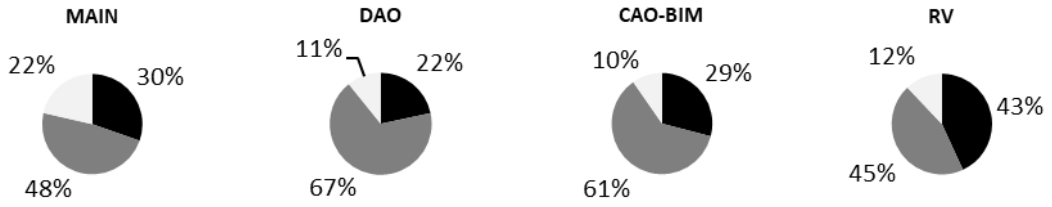


Figure 94 Répartitions des arguments isolés selon leur qualité d'entrée par modalité d'esquisse

Basés sur le tableau Figure 93, ces graphiques ci-dessus renseignent sur la répartition des qualités d'entrée (graphique en noir, semi-graphique en gris foncé, langagière en gris clair) des arguments isolés (Unité). Nous voyons que la Main, plus langagière, concentre 30% seulement d'arguments purement graphiques (noir), surtout pour les arguments Comme (rouge). Inversement, la RV augmente cette proportion de moitié pour atteindre 43% d'arguments graphiques surtout en arguments voir Comme (rouge), les arguments voir Que (bleu) sont, eux,

nettement dominés par les arguments semi-langagiers (gris foncé) (Cf. tableau Figure 93). La décomposition des arguments par tierce, paire ou unité est interprétable et renseigne mal sur le niveau de dialectisme. Le grain de l'unité d'argument renseigne mieux sur le niveau de dialectisme, étant corrélable avec le taux de commutations. Le grain de l'argument isolé a plus renseigné sur la DAO et CAO-BIM fait apparaître que les qualités des entrées dominés par les commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé) et sur l'inversion des entrées faisant apparaitre la Main comme plus langagière et la RV comme sensiblement plus graphique (noir).

7.1.6. Synthèses

Le tableau suivant synthétise les scores de tous les arguments confondus des sept participants selon quatre modalités d'esquisse. Le score maximal de 34 arguments Comme et Que confondus est obtenu par P1 à la Main (en orange). Notons que la Main et la RV obtiennent les meilleurs scores (en jaune), produisant le double d'arguments par rapport à la DAO et à la CAO-BIM.

ARGUMENTS Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV
MAIN	26	34	27	27	26	22	27	17	26	4,83
DAO	14	18	7	10	12	15	14	12	13	3,29
CAO-BIM	18	25	8	10	17	14	15	15	15	5,05
RV	24	27	18	29	26	25	31	24	26	3,84

Meilleur score pour le participant
Meilleur score

Figure 95 synthétique des arguments décomptés par modalité

La main et la RV obtiennent un score moyen de production d'arguments (26), tandis que le DAO obtient le pire score moyen (13); la CAO obtient un score semblable (15). Si la production d'arguments est comparable entre la main et la RV, rappelons que la première est commune tandis que la deuxième a été découverte à l'occasion de ces manipulations : cette moyenne élevée d'arguments constitue donc une surprise.

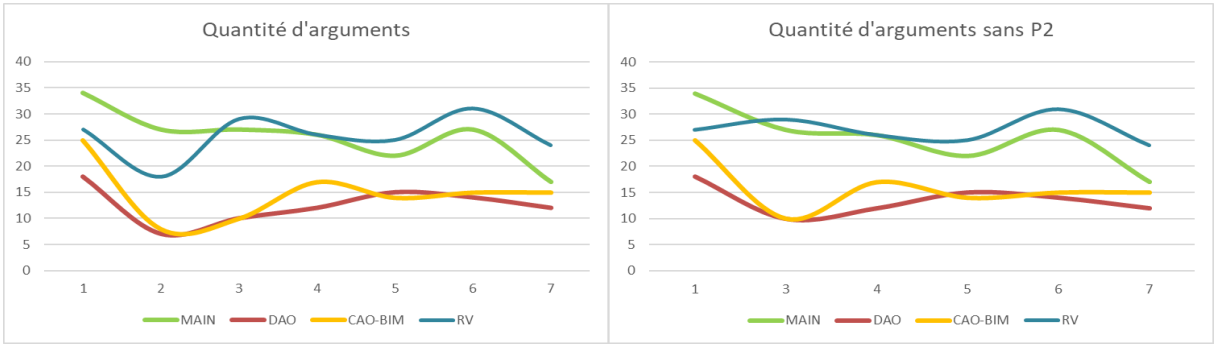


Figure 96 Courbes de production d'argument par modalité selon le tableau Figure 95 avec et sans P2

Le tableau Figure 95 s'accompagne de courbes qui illustrent les tendances décrites (Cf. Figure 96). Les trois premiers participants semblent présenter des résultats disparates qui se stabilisent ensuite autour d'une production avoisinant les 25 arguments pour la Main (vert) et la RV (bleu) contre moins d'une quinzaine pour la DAO (rouge) et la CAO-RV (orange). Une version de ce tableau ne prenant pas en compte les résultats singuliers de P2 est sans impact sur la courbe

représentant la Main (vert) mais stabilise et lisse les courbes pour la DAO (rouge) et la CAO-BIM (jaune), et particulièrement la RV (bleu). Adossé à ce score de quantité d'arguments, nous proposons un critère visant à départager ces arguments selon leur concentration. Le tableau suivant Figure 97 résume pour les quatre modalités la quantité d'arguments Comme et Que en détaillant la qualité de leur entrée (noir, gris foncé ou gris clair), en présentant le total, les moyennes et la déviation standard.

MAIN : VOIR COMME/QUE	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	8	2	5	5	8	2	11	3	6	5	4	2	5	2	47,0	21,0	68,0	6,7	3,0	9,7	2,4	2,7	2,7
Commentaire sur dessin d'esqu	10	6	4	11	4	9	2	9	5	4	6	9	1	8	32,0	56,0	88,0	4,6	8,0	12,6	2,9	2,3	3,1
Commentaire sans dessin d'esc	3	5	0	2	1	2	0	1	1	1	2	4	1	0	8,0	15,0	23,0	1,1	2,1	3,3	1,1	1,8	1,5
sous-total	21	13	9	18	13	13	13	13	12	10	12	15	7	10	87,0	92,0	179	12,4	13,1	25,6	4,4	2,8	3,6

VOIR COMME/QUE DAO	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	3	4	2	0	1	3	1	3	8	0	3	1	6	1	24,0	12,0	36,0	3,4	1,7	5,1	2,6	2,3	2,3
Commentaire sur dessin d'esqu	6	4	2	3	3	3	1	5	1	5	3	5	0	4	16,0	29,0	45,0	2,3	4,1	6,4	2,0	0,9	1,8
Commentaire sans dessin d'esc	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1	5,0	2,0	7,0	0,7	0,3	1,0	1,0	0,5	0,8
sous-total	10	8	4	3	4	6	4	8	9	6	8	6	6	6	45,0	43,0	88	6,4	6,1	12,6	2,6	1,7	2,1

VOIR COMME/QUE CAO-BIM	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	10	2	2	1	1	1	6	2	7	1	6	2	10	0	42,0	9,0	51,0	6,0	1,3	7,3	3,5	3,5	3,5
Commentaire sur dessin d'esqu	2	0	0	3	4	4	2	6	0	4	3	4	0	4	11,0	25,1	36,1	1,6	3,6	5,2	1,6	1,8	1,9
Commentaire sans dessin d'esc	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	3,0	4,0	7,0	0,4	0,6	1,0	0,5	0,5	0,5
sous-total	12	2	3	5	5	5	8	9	8	6	9	6	11	5	56,0	38,1	94	8,0	5,4	13,4	3,2	2,0	2,9

VOIR COMME/QUE RV	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COMM	QUE	TOTAL	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	9	6	5	5	7	3	10	2	5	5	12	1	12	0	60,0	22,0	82,0	8,6	3,1	11,7	3,0	3,8	3,8
Commentaire sur dessin d'esqu	4	4	1	6	6	12	1	4	2	8	2	13	0	12	16,0	59,0	75,0	2,3	8,4	10,7	2,1	3,9	4,4
Commentaire sans dessin d'esc	0	3	0	1	0	0	3	6	5	0	1	2	0	0	9,0	12,0	21,0	1,3	1,7	3,0	2,0	2,2	2,0
sous-total	13	13	6	12	13	15	14	12	12	13	15	16	12	12	85,0	93,0	178	12,1	13,3	25,4	2,9	1,6	2,3

Figure 97 Résumé des scores d'arguments Comme (rouge) et Que (bleu): totaux, moyenne, écarts-type

Comme est toujours plus graphique (noir), Que est toujours plus semi-graphique (gris foncé). La Main est plus langagière (gris foncé et clair). En CAO-BIM comme en RV, Comme est particulièrement plus graphique (noir). En DAO et CAO-BIM, Que est faible en langage (gris clair). Les entrées graphiques (noir) et semi graphique (gris foncé) diffèrent entre la Main et la RV (Cf. fin de section 7.1.5). Sur la base de ce tableau, les tableaux suivants présentent les moyennes des quantités d'arguments en détaillant leurs entrées. P2 obtient des scores déroutants, conformes aux réticences qu'il a exprimées.

MAIN : VOIR COMME/QUE	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-T
Dessin d'esquisse	6,7	3,0	9,7	2,4	2,7	2,7
Commentaire sur dessin d'esqu	4,6	8,0	12,6	2,9	2,3	3,1
Commentaire sans dessin d'esc	1,1	2,1	3,3	1,1	1,8	1,5
sous-total	12,4	13,1	25,6	4,4	2,8	3,6

Figure 98 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée à la Main

A la main, la moyenne d'arguments (25,6) en jaune constitue un niveau de référence pour les modalités suivantes ; notons l'équilibre entre Comme (12,4) et Que (13,1), notons aussi le niveau élevé d'arguments semi-langagiers (12,6) ou langagiers (3,3) traduisant une modalité favorable au langage. Voir Comme (rouge) implique plutôt les entrées graphiques (6,7), voir Que implique significativement plus d'entrées semi-langagières (8) ou langagières (2,1). Notons la moyenne relativement élevée de 3,3 arguments purement langagiers.

VOIR COMME/QUE DAO	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-TC
Dessin d'esquisse	3,4	1,7	5,1	2,6	2,3	2,3
Commentaire sur dessin d'esqu	2,3	4,1	6,4	2,0	0,9	1,8
Commentaire sans dessin d'esq	0,7	0,3	1,0	1,0	0,5	0,8
sous-total	6,4	6,1	12,6	2,6	1,7	2,1

Figure 99 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en DAO

En DAO, la moyenne d'arguments (12,6) en jaune constitue une quantité faible, moitié moindre par rapport à la Main, et qui est équilibré entre Comme (6 ,4) et Que (6 ,1). Moins de la moitié des arguments est d'entrée graphique (noir) (5,1), l'autre moitié est d'entrée graphique commenté (6,4). Voir Comme (rouge) implique plutôt les entrées graphiques (3,4), voir Que implique plutôt des entrées semi-langagières (4,1). Notons la faible moyenne d'arguments langagiers (1) indiquant que la DAO ne favorise pas l'expression langagière.

VOIR COMME/QUE CAO-BIM	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-TC
Dessin d'esquisse	6,0	1,3	7,3	3,5	3,5	3,5
Commentaire sur dessin d'esqu	1,6	3,6	5,2	1,6	1,8	1,9
Commentaire sans dessin d'esq	0,4	0,6	1,0	0,5	0,5	0,5
sous-total	8,0	5,4	13,4	3,2	2,0	2,9

Figure 100 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en CAO-BIM

En CAO-BIM, la moyenne d'arguments est réduite de moitié (13,4) comparativement à la Main, et apparait déséquilibrée entre Comme (8) et Que (5,4), ce qui illustre la difficulté d'expressivité rapportée par les participants. Plus de la moitié de ces arguments est d'entrée graphique (noir) (7,3), l'autre partie est d'entrée graphique commenté (5,2). Notons la faible moyenne des arguments purement langagiers (1) et l'accroissement très conséquent de la moyenne d'*inputs* graphiques (6) pour les arguments Comme, ce qui peut symétriquement indiquer une faiblesse d'expressivité langagière.

VOIR COMME/QUE RV	MOYE	MOYE	TOTAL	STDV	STDV	STDV-TC
Dessin d'esquisse	8,6	3,1	11,7	3,0	3,8	3,8
Commentaire sur dessin d'esqu	2,3	8,4	10,7	2,1	3,9	4,4
Commentaire sans dessin d'esq	1,3	1,7	3,0	2,0	2,2	2,0
sous-total	12,1	13,3	25,4	2,9	1,6	2,3

Figure 101 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en RV

En RV, la moyenne d'arguments (25,4) en jaune est comparable à la Main - ce qui a constitué une surprise - et est presque équilibrée entre Comme (12,1) et Que (13,3). Plus de la moitié des arguments est d'entrée graphique (noir) (11,7), l'autre moitié est d'entrée graphique commentée (gris foncé) (10,7). Les proportions sont accentuées par rapport à la Main: il y a trois fois plus d'*inputs* graphiques (noir) (8,6) pour les arguments voir Comme que pour voir Que (3,1) ; ce pourrait être dû à une forte mobilisation cognitive par le dessin spatialisé. Inversement nous observons trois fois plus d'inputs semi-graphiques (gris foncé) en arguments Que (8,4) par rapport à Comme (2,3), ce qui s'expliquerait par une grande stimulation permise par le modèle photogrammétrique qui a semblé inspirer et susciter les commentaires des participants. La RV et le dessin spatialisé conviendraient bien aux tâches de conception créative basées sur un contenu 3D. Nous détaillons ensuite (Cf. Figure 102) les scores résumés des sept passations

pour les quatre modalités suivant la quantité d'arguments produits (en bleu) qui est le critère le plus évident du niveau de dialectisme d'une modalité d'esquisse donnée. Les tendances générales sont lisibles dans le tableau SCORES MOYENS figurant en fin de Figure 102. On observe encore que la Main et la RV majorent dans la plupart des résultats, en général au double des quantités d'arguments produits en DAO et CAO-BIM. Les résultats ne sont pas pour autant uniformes, certains participants ayant été sceptiques, comme ça a été le cas pour Goldschmidt en 1991, d'autres étant au contraires coopératifs ou enthousiastes, ces disparités s'expriment de façons multiples.

SCORES P1	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P1_4-MAIN	34	8	7	10
P1_2-DAO	18	6	4	6
P1_1-CAO-BIM	25	6	4	7
P1_3-RV	27	7	4	7

SCORES P2	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P2_4-MAIN	27	5	3	9
P2_2-DAO	7	1	0	4
P2_1-CAO-BIM	8	1	0	0
P2_3-RV	18	4	2	1

SCORES P3	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P3_MAIN	27	6	6	12
P3_DAO	10	2	2	6
P3_CAO-BIM	10	3	4	2
P3_RV	29	6	4	8

SCORES P4	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P4_4-MAIN	26	4	3	10
P4_2-DAO	12	2	0	2
P4_1-CAO-BIM	17	4	1	7
P4_3-RV	26	4	0	16

SCORES P5	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P5_4-MAIN	22	5	5	5
P5_2-DAO	15	3	3	6
P5_1-CAO-BIM	14	4	4	6
P5_3-RV	25	6	5	12

SCORES P6	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P6_4-MAIN	27	8	5	10
P6_2-DAO	14	3	3	7
P6_1-CAO-BIM	15	4	3	3
P6_3-RV	31	8	7	11

SCORES P7	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P7_4-MAIN	17	4	4	2
P7_2-DAO	12	2	2	5
P7_1-CAO-BIM	15	4	2	4
P7_3-RV	24	7	7	3

SCORES MOYENS	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P7_4-MAIN	26	6	5	8
P7_2-DAO	13	3	2	5
P7_1-CAO-BIM	15	4	3	4
P7_3-RV	26	6	4	8

Figure 102 Tableaux-résumés des scores principaux par participant et scores moyens

Notons encore une fois la singularité des résultats de P2, le participant qui a semblé moins impliqué, notamment pour les passations en DAO, CAO-BIM et RV. Il conviendra sans doute de présenter les différentes tendances émergeant de nos passations avec et sans la prise en compte des résultats de P2. Les résultats de P7 paraissent aussi singuliers, notamment à la Main, en DAO et CAO-BIM, sans plus de conséquences. Les tendances générales ne sont pas contredites par ces cas singuliers, le critère de quantité d'arguments reste clair et significatif.

Apparaissant moins décisifs ou évidents, les scores de Tierces d'arguments (trois arguments consécutifs), de Paire (deux arguments consécutifs), et d'Unités d'arguments sont des indicateurs peu explicites (Cf. 7.1.5). Nous supposons que leurs significations peuvent être contradictoires concernant la conduite attentionnelle du concepteur. Par exemple, une tierce ou une paire d'arguments pourrait indiquer la persévérance (*remaining*) dont ferait preuve le concepteur qui aurait besoin d'enchainer plusieurs arguments ou, au contraire, une fixation de conception (*design fixation*) (Crilly, 2015, p. 75). Les unités d'arguments pourraient tout autant traduire l'ouverture (*openness*) du concepteur aux idées alternatives que, plus négativement, une forme d'inconstance ou d'agitation. En fin de section 4.2.2, Nous avions vu que, selon Crilly, les concepteurs doivent rester ouverts aux alternatives tout en étudiant une idée particulière (Crilly, 2015, p. 75), autrement dit, d'être persévérants mais curieux. Au terme de cette section, le critère de la quantité d'arguments reste plutôt facile à appréhender et parait « robuste », et nous considérons que la quantité d'arguments peut signaler cette persévérance ouverte dont parle Crilly. Aucun élément de preuve tangible ne permet d'étayer nos autres suppositions sur les regroupements d'arguments tant elles paraissent être interprétables et propres à chaque participant. Par l'observation des résultats au « grain » de l'argument isolé, nous avons tenté de dégager une tendance rapprochant deux à deux DAO et CAO-BIM, dont les trois-quarts des arguments isolés sont en Commentaire sur dessin d'esquisse (gris foncé) et, par ailleurs, Main et RV où la première privilégie le langage et la deuxième privilégie l'image. Des passations supplémentaires permettraient de statuer sur l'intérêt d'aborder les arguments selon leur regroupement. Nous proposons l'admission de ce critère de la quantité d'arguments comme expression significative du niveau de dialectisme d'une modalité donnée.

7.2. Validation du critère de commutabilité entre Comme et Que

Les commutations entre les arguments Comme et Que forment-elles un critère recevable de dialectisme ? Le critère de Commutabilité doit être discuté car si son intérêt est évident concernant le dialectisme et les changements de points de vue qu'il suppose, il reste à l'établir.

7.2.1. Expression de la commutabilité en pourcentage

L'indicateur vert indique la proportion de changement ou commutation entre Comme et Que, que nous nommons Commutabilité, critère exprimant les changements de point de vue entre Comme et Que, et conséquemment le dialectisme du *sketching*. Pour l'évaluer, nous considérons le nombre effectif de changements entre Comme et Queque nous rapportons au total d'arguments moins un. Plus le score tend vers 100%, plus la Commutabilité est élevée. La formule proposée est :

Commutabilité=Nombre de commutations/commutation max.-1

Les résultats relevés pendant les passations sont reportés ici et exprimées en pourcentage :

COMMUTABILITE EN %	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE	STDV
MAIN	68	58	54	69	60	64	62	44	59	8
DAO	85	59	67	67	55	71	69	64	65	8
CAO-BIM	76	58	14	56	56	52	50	50	48	16
RV	91	38	29	54	72	69	63	48	53	19

Figure 103 Mesures en pourcentage de la Commutabilité par modalité de dessin d'esquisse

Nous voyons que le plus haut niveau moyen de commutabilité revient, curieusement, à la modalité la moins appréciée (DAO à 65%)[608], et que le plus bas niveau moyen revient à l'autre modalité peu appréciée (CAO-BIM à 38%), c'est-à-dire que les niveaux de commutations les plus hauts et les plus bas correspondent aux modalités les moins appréciées, le DAO et la CAO-BIM. Cet indicateur n'est sans doute pas significatif dans ses valeurs maximales et minimales, mais pourrait l'être entre les deux. La « fourchette » entre ces valeurs, 65% et 48%, est de 17%, une amplitude qui parait faible mais qui est significative entre la modalité DAO présentant trop de commutations et la CAO-BIM n'en présentant pas assez, le meilleur niveau de commutations pourrait se situer entre les deux. La modalité de référence, la Main, obtient un score moyen de 59% (vert), qui valoir pour référence. Nous supposons qu'il représenterait le meilleur score de commutabilité possible et traduirait un équilibre entre Comme et Que. Au-dessus de cette valeur de 59%, les commutations tendraient rapidement à devenir trop nombreuses, traduisant une agitation et, inversement, en dessous de cette valeur, les commutations deviendraient insuffisamment fréquentes, traduisant un manque d'alternance de points de vue entre Comme et Que. Ce faible écart de 6% entre une « bonne » proportion de commutations (59% à la Main) et une « mauvaise » (65% en DAO) interroge et peut nécessiter de nouvelles passations pour pouvoir être confirmé mais nous considérons cette proportion comme significative tant les passations Main ont paru plus « fluides » que celles en DAO. Nous sommes confortés par le précédent des passations de Goldschmidt (1991) car cette valeur de commutabilité résultant de

[608] Cf. section 7.5

nos expériences et que nous supposons meilleure correspond à celle que nous retrouvons dans les passations de Goldschmidt et que nous résumons dans le tableau suivant (Cf. Figure 104) avec une moyenne de 61%. Ainsi, nos sept passations ajoutées aux trois de Goldschmidt (1991), soit dix passations en tout, convergent vers un seuil de commutabilité optimal pour le dessin d'esquisse à la main tendant vers 60% paraissant significatif.

SCORES Goldschmidt (1991)	Commutabbilité
M_1991	65%
R_1991	54%
G_1991	64%
Moyenne	61%

Figure 104 Mesures en pourcentage de la Commutabilité obtenues par Goldschmidt (1991)

Cette hypothèse vaut si l'on admet que la modalité de dessin d'esquisse à la main constitue bien la référence en matière de dialectisme. Nous ne pouvons apporter d'éléments de preuve supplémentaires mais ces dix passations montrent une tendance nette à 60% de commutabilité que nous proposons comme référence pour établir la commutabilité d'une modalité d'esquisse. Dès lors, la proportion de commutations en RV interroge car, bien qu'étant comparable à la Main pour la quantité d'arguments produits, la RV présente la proportion de commutations la plus faible à 53% (Cf. tableau Figure 103). Précisons que les résultats présentent de grandes disparités, les résultats étant particulièrement dispersés entre P2 (29%) et P4 (72%) avec un taux de déviation standard élevé à 19. Sans prendre en compte les résultats de la passation de P2 qui a paru moins impliqué que les autres participants, nous obtenons des tendances moins disparates et plus significatives. Les courbes présentées ci-après montrent les proportions de commutabilité exprimée en pourcentage pour les quatre modalités d'esquisse. Nous notons que, sans P2, les courbes de RV et surtout celle de CAO-BIM (à droite de la Figure 105) paraissent plus significatives et cohérentes avec l'ensemble des résultats.

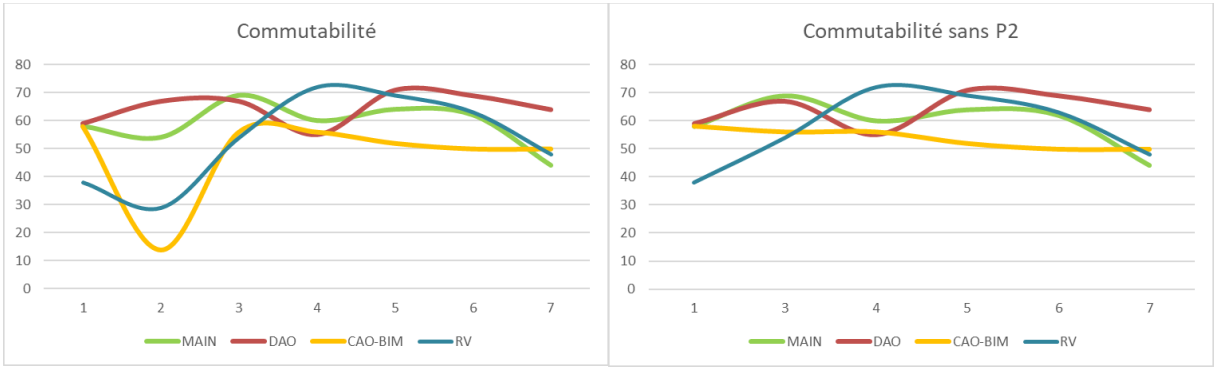


Figure 105 Comparaison des courbes de Commutabilité avec et sans prise en compte de P2

Ces courbes de Commutabilité (à gauche) et de Commutabilité sans P2 (à droite) illustrent le niveau moyen de Commutabilité exprimé en pourcentage. Eluder les scores de P2 a pour effet de lisser les résultats moyens, où l'on voit que la Main (en vert) reste à 59% comme la DAO

(en rouge) reste à 65%, tandis que, sans P2, l'impact est plus grand en CAO-BIM (en jaune) qui remonte à 53% et, surtout, la RV (en bleu) qui remonte à 57% (Cf. Figure 106). Il est curieux de voir que ce lissage a peu d'impact pour les modalités de représentation (Main et DAO) et, inversement, qu'il est très impactant concernant les modalités de modélisation (CAO-BIM et RV). P2 a déclaré que la modalité CAO-BIM - dont il est un spécialiste - ne lui paraissait pas adapté aux tâches créatives. Si ses résultats en RV ont semblé bons du point de vue de la quantité d'arguments produits, d'apparentes fixations ont conduit P2 à enchainer des arguments unilatéraux (un premier mouvement comprenant six arguments, et un second comprenant quatre arguments), provoquant de moindres commutations entre Comme et Que (Cf. Figure 89).

COMMUTABILITE EN %	MOYE
MAIN	59
DAO	65
CAO-BIM	48
RV	53

COMMUTABILITE sans P2	MOYE
MAIN	59,5
DAO	64,2
CAO-BIM	53,7
RV	57,3

Figure 106 Moyenne de commutabilité avec (à gauche) et sans P2 (à droite)

En excluant P2 du calcul de la moyenne de commutations, nous trouvons une correspondance de Commutabilité entre Main (59,5%) et RV (57,3%) (Cf. Figure 106, à droite). Nous proposons de considérer que quarante minutes de passations permettent à une modalité d'esquisse efficace de produire 26 arguments selon un taux de Commutation entre Comme et Que d'environ 60%. Des investigations supplémentaires permettraient de statuer sur le niveau de corrélation entre le critère de la quantité d'arguments et celui de la Commutabilité.

7.2.2. Comparaison des graphiques de commutations

Issues des grilles annotatives précédentes, les relevés d'arguments sont traduits ci-après (Figure 107) en graphique de type « surfaces ». Chaque graphique de passation est titré avec le code identifiant le participant, le nom de la modalité d'esquisse et, en rappel, le score de commutabilité exprimé en pourcentage. L'ensemble des graphiques est présenté en abscisse par un ordre de modalités (Main, DAO, CAO-BIM, RV) et présente en ordonnée les participants par ordre de passage, une ligne correspondant à un seul participant. Chaque graphique permet de montrer l'alternance d'arguments Comme et Que, de montrer les unités d'argument (pics), et de montrer les paires ou tierces d'arguments (plats). Il est difficile d'établir des ressemblances entre les modalités, à part en considérant que les graphiques de DAO et CAO-BIM traduisent une moindre production d'arguments. Toutefois, nous observons chez certains participants, une ressemblance entre les courbes de commutations produites à la Main et celles produites en RV, évoquant un *pattern* ou une « signature » propre à chacun, particulièrement observable chez P-3, P-4, P-5 et P-6. Cette ressemblance laisse penser que la manière d'esquisser propre à chaque participant en RV correspond à peu près à celle qu'il utilise habituellement à la Main. Certains plats marquent un blocage ou fixation de conception (*design fixation*) (P-2 Main). Certains pics marquent une agitation et un excès de commutations (P-4 RV). D'un certain point de vue, si l'on se réfère au score de commutabilité discuté dans la section précédente où l'on propose que le meilleur niveau de commutabilité corresponde à une proportion de 60% de commutations,

nous voyons que les participants P-1 MAIN (58%) P-6 MAIN (62%) et surtout P-4 MAIN (60%) se rapprochent de ce niveau supposé le meilleur de commutabilité ; ainsi que P-6 RV (63%), P-7 DAO (64%). Il apparait alors, lorsqu'on prend en compte les proportions de commutabilité individuellement, que les trois passations à la Main sont plus proches de ce seuil de 60%, c'est-à-dire que les moyennes que nous fournissons dans la Figure 103 et dans la Figure 106 en écartant les scores singuliers de P2 doivent être relativisées, notamment du point de vue de la modalité RV qui présente une grande dispersion de ses résultats par rapport à la Main[609].

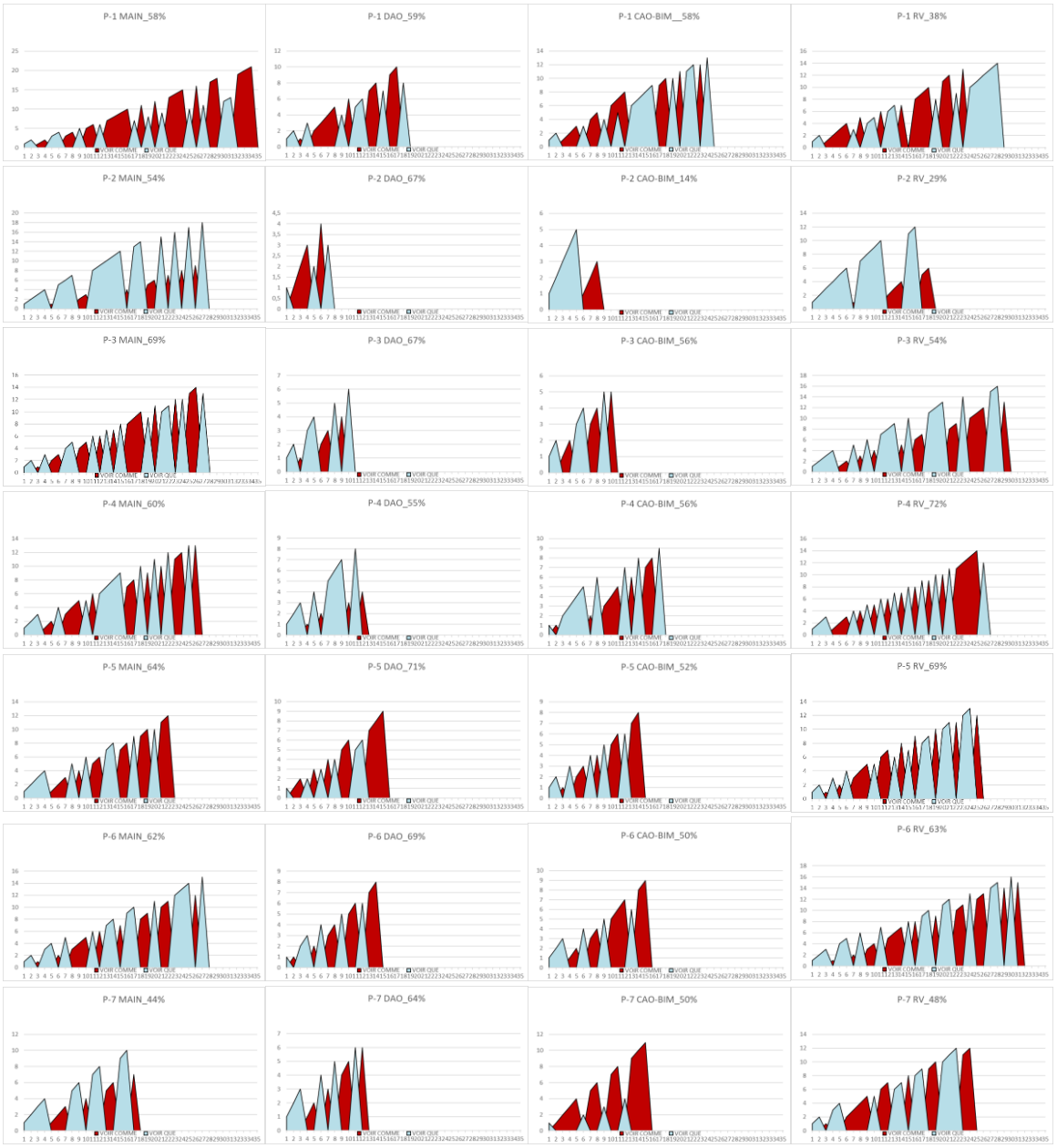


Figure 107 courbes de commutations Comme et Que des quatre modalités

[609] Déviation standard de 19 en RV contre 8 à la Main. Cf. Figure 103

En RV, certains participants multiplient les arguments groupés et unilatéraux (plats) en Paires, Tierces et plus (P-1, P-3, P-7), ce qui réduit la proportion de commutabilité, tandis que d'autres multiplient les arguments isolés (Unité) (P-4, P-5) sous forme de pic. Le seul participant présentant, en RV, un bon taux et des courbes équilibrés produit six arguments isolés (pics), contre deux arguments cumulés unilatéralement (plats). En conséquence, nous supposons que les courbes de P-6 constitueraient un modèle idéal s'il présentait un peu moins de « pics » et quelques « plats » supplémentaires. Sauf pour P2, les courbes de commutations à la Main et en RV correspondent globalement deux-à-deux, comme celles du DAO et de la CAO-BIM. Il est entendu que plusieurs modèles de courbes peuvent atteindre ce niveau de 60% de Commutabilité. L'intérêt des courbes est de traduire graphiquement l'alternance de points de vue et d'arguments Comme et Que, de montrer le rythme des passations (les plats induisant une lenteur, les pics supposant une accélération) de montrer les participants qui ont pu peiner (P-2 surtout, P-7), les modalités qui ont plu (Main surtout, RV également), celles qui se font écho (Main et RV d'un côté, DAO et CAO-BIM de l'autre). A la Main, chez P-1, les arguments Comme (rouge) dominent les arguments Que (bleu) alors que c'est le contraire pour P-4 et P-7. En RV, chez P-1, les arguments Comme (rouge) dominent légèrement les arguments Que (bleu) tandis que c'est le contraire chez P-4 et P-6. Il est difficile de statuer sur les ressemblances entre Main et RV, pour certains participants (P-1, P-3), la Main permet de produire plus d'arguments Comme (rouge) que d'arguments Que (bleu) par rapport à la RV, tandis que chez d'autres, la Main soutient plus les arguments Que (bleu). Nous avions vu (Cf. 7.1.6 et Figure 101) que les moyennes d'arguments entre la RV et la Main sont comparables, avec un équilibre comparable entre Comme et Que. Mais, en RV, les proportions sont accentuées par rapport à la Main: il y a trois fois plus d'inputs graphiques pour Comme que pour Que, ce qui indiquerait une forte mobilisation cognitive requise par le dessin spatialisé. Inversement nous avons observé trois fois plus d'inputs semi-graphiques (gris foncé) en arguments Que par rapport à Comme, ce qui s'expliquerait par une grande stimulation permise par le modèle photogrammétrique suscitant les commentaires. Nous proposons l'admission de ce critère de la quantité de commutations, ou Commutabilité, comme expression significative du niveau de dialectisme d'une modalité donnée, même si plus d'investigations seraient utile pour consolider ce critère. La moyenne des quatre modalités étant de 56% de commutations, il parait raisonnable de supposer que la meilleure proportion est proche, située plutôt au-dessus de la moitié des commutations possibles. Jusqu'ici, la proportion de 60% s'impose comme référence à la Main pour nous comme pour Goldschmidt (1991), et nous servira à proposer la composition d'un score de Commutabilité.

7.3. Projet de score de dialectisme par modalité d'esquisse

7.3.1. Score d'arguments

Le décompte d'arguments s'impose comme un critère majeur servant à mesurer le dialectisme de l'esquisse. Nous proposons la mise en équation[610] suivante :

$$Darg = (\frac{argP1}{argMax} + \frac{argP2}{argMax} + \frac{argP3}{argMax} + \frac{argP4}{argMax} + \frac{argP5}{argMax} + \frac{argP6}{argMax} + \frac{argP7}{argMax})/nP$$ [611]

ou

$$Darg = \frac{\sum_{P_i \subseteq P} \frac{arg(P_i)}{argMax}}{|P|}$$

Avec les variables suivantes :

D=dialectisme
arg= argument et nombre d'arguments
P1=participant 1, etc.
argMax=argument maximum
nP=nombre total de participants

Le tableau suivant Figure 108 illustre la proposition de calcul de scores d'arguments basée sur le tableau de décompte d'arguments (Cf. tableau Figure 95) rapporté sur une échelle de 1 (orange) qui correspond au meilleur score de production d'arguments (34) obtenu par P1 à la Main. Cet étalon du meilleur score est sujet à discussions mais il a paru adapté, simple et robuste. Nous constatons que les scores de dialectisme des modalités Main et RV en jaune (0,76) majorent au double des scores du DAO (0,37) et CAO-BIM (0,44). Si la maturité de la Main est acquise, la nouveauté du dessin d'esquisse en RV est surprenante et laisse augurer une possible marge de progression. Cette comparaison ne suppose pas de confusion, la Main reste la référence en matière d'esquisse, et, de son côté, le dessin spatialisé élargit le spectre des modalités d'esquisse en exploitant le potentiel de l'immersion en RV, notamment le dessin spatialisé dans la dimension même du contenu-support en 3D, modélisation BIM, photogrammétrique ou autre.

SCORES ARGUMENTS	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	SCORE
MAIN	0,76	1,00	0,79	0,79	0,76	0,65	0,79	0,50	0,76
DAO	0,41	0,53	0,21	0,29	0,35	0,44	0,41	0,35	0,37
CAO-BIM	0,53	0,74	0,24	0,29	0,50	0,41	0,44	0,44	0,44
RV	0,71	0,79	0,53	0,85	0,76	0,74	0,91	0,71	0,76

Figure 108 scores des arguments par modalité valant pour mesure du niveau de dialectisme d'une modalité d'esquisse

[610] Ou D=dialectisme ; arg= argument et nombre d'arguments; P1=participant 1, etc. ; argMax=argument maximum ; nP=nombre total de participants

[611] Cette équation sur Latex devient :
Darg=(\frac{argP1}{argMax}+\frac{argP2}{argMax}+\frac{argP3}{argMax}+\frac{argP4}{argMax}+\frac{argP5}{argMax}+\frac{argP6}{argMax}+\frac{argP7}{argMax})/nP

Nous avons relevé des disparités dont certaines étaient liées à P2 qui a semblé insuffisamment impliqué, ce qui a impacté ses résultats. En conséquence, nous présentons en Figure 109 les scores sans P2. Les scores changent alors sensiblement : la RV augmente (0,79) en jaune et dépasse la Main (0,75), qui majore au double de la CAO-BIM (0,47) et du DAO (0,4).

SCORES ARGUMENTS sans P2	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYE
MAIN	0,76	1,00		0,79	0,76	0,65	0,79	0,50	0,75
DAO	0,41	0,53		0,29	0,35	0,44	0,41	0,35	0,40
CAO-BIM	0,53	0,74		0,29	0,50	0,41	0,44	0,44	0,47
RV	0,71	0,79		0,85	0,76	0,74	0,91	0,71	0,79

Figure 109 scores des arguments par modalité sans P2

Si la maturité de la main est acquise, la nouveauté du dessin d'esquisse en RV augure une marge de progression. L'impact de l'exclusion des scores singuliers de P2 est plutôt faible sur le score d'argument, mais il pourrait servir en vue de son association avec le score de Commutabilité où les scores de P2 posent plus de difficultés.

7.3.2. Score de Commutabilité à partir des proportions

Le critère de Commutabilité est moins évident à établir que le score de quantité d'arguments. A défaut d'éléments de preuve, nous avons pu néanmoins observer une tendance indiquant qu'une meilleure proportion de Commutabilité serait de 60%, ce qui signifie qu'un peu plus de la moitié des commutations possibles entre Comme à Que sont effectuées. En se basant sur cette présomption, 60% correspondrait au score maximal de 1. En deçà et au-delà de 60%, le score se dégrade, faisant penser à une courbe de Gauss. Après avoir considéré d'utiliser des fonctions de loi normale asymétrique à cause des proportions minimales (48%) et maximales (65%) asymétrique par rapport au « mode » de 60%, nous envisageons une solution plus simple à mettre en œuvre qui borne le score de commutabilité entre 40% et 80%, et où 60% constitue la meilleure Commutabilité à laquelle correspond le score maximal de 1 (jaune) (Cf. Figure 110). Nous proposons la mise en équation suivante :

Dcomm= (Cx-Cmin)/(Cmax-Cmin) pour les valeurs < à 60%
Dcomm= (Cx-Cmin)/(Cmin-Cmax) pour les valeurs > à 60%

Avec les variables suivantes:

Cx=valeur obtenue en pourcentage
Cmin=valeur minimum (40%) = valeur maximum (80%)=0
Cmax=valeur maximale (60%)=1

Ce tableau illustre la proposition simulant l'équivalence entre pourcentage (haut) et score (bas) :

	INSUFFISANTE				MAX			EXCESSIVE	
%	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Score	0	0,25	0,5	0,75	1	0,75	0,5	0,25	0

Figure 110 Exemple d'échelle de correspondance entre une proportion en % et un score de Commutabilité sur 1

Les tableaux suivants apportent le détail des commutations par modalité en précisant le classement des participants. L'équilibre des scores de la Main autour de 1 vaut pour modèle.

MAIN SCORE DE COMMUTATIONS

	INSUFFISANTE				MAX			EXCESSIVE	
%	40	44	54	58	60	62	64	69	80
Score	0	0,2	0,7	0,9	1	0,9	0,8	0,55	0
		P7	P2	P1	P4	P6	P5	P3	

Figure 111 Score de Commutabilité Main

P4, obtient le meilleur score, suivi de P1 et P6. P7 et P3 obtiennent les moins bons scores.

DAO SCORE DE COMMUTATIONS

	INSUFFISANTE			MAX				EXCESSIVE	
%	40	55	59	60	64	67	67	69	71
Score	0	0,75	0,95	1	0,8	0,65	0,65	0,55	0,45
		P4	P1		P7	P2	P3	P6	P5

Figure 112 Score de Commutabilité DAO

P1 obtient le meilleur score, suivi de P7. P6 et P5 minorent avec trop de commutations.

CAO-BIM SCORE DE COMMUTATIONS

	INSUFFISANTE							MAX			EXCESSIVE
%	40	14	50	50	52	56	56	58	60	65	70	75
Score	0	-1,3	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	1	0,75	0,5	0,25
		P2	P6	P7	P5	P3	P4	P1				

Figure 113 Score de Commutabilité CAO-BIM

P1 obtient le meilleur score, suivi de P4. P6 et P7 obtiennent les moins bons indiquant trop peu de commutations. P2 obtient le pire score, exceptionnellement une note négative.

RV SCORE DE COMMUTATIONS

	INSUFFISANTE					MAX			EXCESSIVE	
%	40	29	38	48	54	60	63	69	72	80
Score	0	-0,6	-0,1	0,4	0,7	1	0,85	0,55	0,4	0
		P2	P1	P7	P3		P6	P5	P4	

Figure 114 Score de Commutabilité RV

P6, qui a déclaré apprécier le dessin spatialisé en RV obtient le meilleur score, suivi de P3, enthousiaste également. P1 obtient un mauvais score, et P2 obtient un score pire encore, avec trop peu de commutations. Dans le tableau suivant, les résultats par modalité tenant compte de tous les participants montrent que la Main obtient le meilleur score (0,95) devant la DAO (0,75)

puis la RV (0,65) et la CAO-BIM (0,4). Il est surprenant de voir que la RV, qui produit pourtant autant d'arguments que la Main, n'obtiennent pas un meilleur score de Commutation.

SCORE DE COMMUTATIONS

	INSUFFISANTE				MAX			EXCESSIVE	
%	40	48	53	59	60	65	70	75	80
Score	0	0,4	0,65	0,95	1	0,75	0,5	0,25	0
		BIM	RV	MAIN		DAO			

Figure 115 Score de Commutabilité des modalités d'esquisse sur 1

Le tableau suivant présente les scores tenant compte de tous les participants à l'exclusion de P2, qui a montré une certaine réticence lors des passations. Les scores paraissent alors moins incohérents. La Main obtient le meilleur score (1) devant la RV (0,85) puis le DAO (0,8) et le DAO (0,4). Le score de la RV, qui produit autant d'arguments que la Main, atteint un score de commutation paraissant plus conforme aux témoignages favorables des participants et aux courbes de commutations (Cf. Figure 107), pouvant justifier l'exclusion de P2.

SCORE DE COMMUTATIONS SANS P2

	INSUFFISANTE				MAX			EXCESSIVE	
%	40	45	54	57	60	64	70	75	80
Score	0	0,25	0,7	0,85	1	0,8	0,5	0,25	0
			BIM	RV	MAIN	DAO			

Figure 116 Score de Commutabilité sur 1 sans prise en compte des résultats de P2

L'un de ces deux derniers tableaux sera associé avec les tableaux Figure 108 ou Figure 109 des scores d'arguments selon que l'on prendra ou non en compte les scores de P2.

7.4. Scores de Dialectisme

Le tableau suivant présente le score de dialectisme basé sur le score de quantité d'argument (Cf. Figure 108) et sur le score de Commutabilité (Cf. Figure 115). Il serait difficile de considérer le score de Commutabilité à hauteur des Scores d'Arguments, ce dernier ayant l'évidence qui manque encore au premier, en voie de consolidation. Nous nous sommes résolus à pondérer leur rapport par l'application au Score d'Argument d'un coefficient majorateur de 1,2 établi après simulations. Sans cela, certains scores de Commutabilité deviendraient, curieusement, dominants. Cette compensation rend cohérent le calcul du Score de Dialectisme, y compris en prenant compte de valeurs supérieures, le Score de Dialectisme resterait opérant.

SCORE DE DIALECTISME	MAIN	DAO	BIM	RV
Score Argument	0,76	0,37	0,44	0,76
Score Argument (coef.1,2)	0,91	0,44	0,52	0,91
Score Commutabilité	0,95	0,75	0,40	0,65
Score Dialectisme	0,93	0,60	0,46	0,78

Figure 117 Scores de Dialectisme

La Main obtient le meilleur score de Dialectisme (0,93), devant le RV (0,78), puis le DAO (0,60) et la CAO-BIM (0,46). Le tableau suivant présente le score de dialectisme basé sur le score de quantité d'argument présenté dans le tableau Figure 109 qui ne tient pas compte des scores de P2 et sur le score de Commutabilité présenté dans le tableau Figure 116 sans P2.

SCORE DE DIALECTISME sans P2	MAIN	DAO	BIM	RV
Score Argument	0,75	0,40	0,47	0,79
Score Argument (coef.1,2)	0,90	0,48	0,56	0,95
Score Commutabilité	1,00	0,80	0,70	0,85
Score Dialectisme	0,95	0,64	0,63	0,90

Figure 118 scores de Dialectisme sans P2

Aux vues de ces deux tableaux, et bien que la non prise en compte des scores de P2 soit intéressante, elle n'apparait pas nécessaire du fait de l'application au score d'arguments du coefficient majorateur de 1,2. Selon le tableau Figure 117, la Main obtient donc les scores de Dialectismes suivants :

Main : **0,93** (et 0,95 sans P2)
DAO : **0,60** (et 0,64 sans P2)
CAO-BIM : **0,46** (et 0,63 sans P2)
RV : **0,78** (et 0,90 sans P2)

7.5. Questionnaire

Lors des cinq dernières minutes de chaque passassion, un bref questionnaire a permis de recueillir l'évaluation des quatre modalités d'esquisse selon 15 critères suivis d'un classement par ordre de préférence pour chacun des participants (cf. tableau ci-dessous). Le volant de notes va de 0 à 7, la plus mauvaise étant 0, la meilleure étant 7.

Participant	Initiales	Technique	ordre passage	Performance	Rapidity	Physical	Concentration	Frustration	Confidence	Enjoyment	Creativity	Expressivity	Memorability	Critic dimensiior	Modification	difficulity	accessibility	affordance	preference
0	TC	main	4	6	6	7	4	7	7	7	7	7	7	5	4	6	6		1
0	TC	DAO	2	2	2	7	4	1	3	1	1	2	4	4	1	2	3		4
0	TC	CAO BIM	1	4	7	7	5	7	7	6	5	5	6	6	7	7	7		2
0	TC	VAirDraw	3	6	5	1	1	6	6	7	7	7	6	4	1	5	6		3
1	PAS	main	1	6	6	6	5	6	6	7	7	7	7	7	6	4	7	7	2
1	PAS	DAO	2	3	3	1	1	1	5	4	3	5	2	4	6	1	6	2	3
1	PAS	CAO BIM	4	4	4	6	6	3	6	4	4	5	4	3	6	4	3	4	4
1	PAS	VAirDraw	3	7	6	3	1	4	3	7	6	7	6	6	4	4	1	5	1
2	TC	main	1	7	6	6	6	6	6	6	5	7	6	6	6	7	7	6	1
2	TC	DAO	4	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	4	2	1	1	4
2	TC	CAO BIM	3	4	4	6	3	1	5	6	3	5	6	6	7	4	3	3	3
2	TC	VAirDraw	2	5	6	4	3	5	5	6	3	5	4	6	1	4	3	4	2
3	BQ	main	1	6	6	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6	7	7	7	1
3	BQ	DAO	3	3	2	6	4	2	4	2	3	3	4	4	6	4	6	4	4
3	BQ	CAO BIM	4	5	5	6	6	5	6	5	5	4	4	5	6	6	3	5	3
3	BQ	VAirDraw	2	6	6	5	5	5	5	6	5	5	4	5	3	5	1	4	2
4	JR	main	3	6	6	6	7	7	7	6	6	6	6	6	3	6	7	6	2
4	JR	DAO	1	3	2	7	3	5	6	4	3	3	4	3	5	5	6	1	3
4	JR	CAO BIM	4	2	3	6	2	2	6	2	2	1	5	3	3	5	2	1	4
4	JR	VAirDraw	2	7	7	4	7	7	7	7	7	7	6	6	6	7	1	7	1
5	AD	main	4	7	5	7	6	7	5	7	7	6	7	5	2	7	7	7	1
5	AD	DAO	3	6	7	5	4	5	6	5	7	4	6	2	5	5	7	6	3
5	AD	CAO BIM	2	2	2	3	3	1	6	3	2	3	3	5	5	3	7	6	4
5	AD	VAirDraw	1	5	6	7	6	3	4	6	5	6	6	7	1	4	1	6	2
6	TO'B	main	2	7	7	6	7	6	6	7	7	6	6	6	6	6	7	6	1
6	TO'B	DAO	4	2	2	5	5	2	3	2	1	2	2	2	4	2	6	2	4
6	TO'B	CAO BIM	1	5	3	7	6	3	6	4	3	3	6	3	5	4	6	2	3
6	TO'B	VAirDraw	3	6	6	2	3	6	5	7	6	4	3	4	2	6	1	6	2
7	KJ	main	3	5	6	7	6	6	6	6	5	6	7	6	7	7	7	6	2
7	KJ	DAO	1	2	2	4	6	1	3	2	2	2	2	3	6	3	7	3	4
7	KJ	CAO BIM	4	2	2	6	4	7	5	4	2	2	2	3	3	2	7	4	3
7	KJ	VAirDraw	2	6	6	3	6	6	6	6	7	6	6	6	3	7	5	4	1

Figure 119 Réponses au Questionnaire d'évaluation multicritères et classement des modalités par préférence

Le tableau ci-après synthétise le précédent en restituant les évaluations moyennes :

classement moyen par critère	Performance	Rapidity	Physical	Concentration	Frustration	Confidence	Enjoyment	Creativity	Expressivity	Memorability	Critic dimensiion	Modification	difficulity	accessibility	affordance	preference
Main	6,29	6,00	6,43	6,14	6,43	6,00	6,57	6,29	6,43	6,43	6,00	5,14	6,29	7,00	6,43	1,43
DAO	3,00	2,71	4,29	3,57	2,43	4,14	3,00	3,00	3,00	3,00	2,71	5,14	3,14	5,57	2,71	3,57
CAO-BIM	3,43	3,29	5,71	4,29	3,14	5,71	4,00	3,00	3,29	4,29	4,00	5,00	4,00	4,43	3,57	3,43
RV-VAirDraw	6,00	6,14	4,00	4,43	5,14	5,00	6,43	5,57	5,71	5,00	5,71	2,86	5,29	1,86	5,14	1,57

Figure 120 classement moyen des quatre modalités selon 16 critères dont le dernier est l'ordre de préférence

Les réponses moyennes obtenues confirment la prévalence de la modalité d'esquisse à la main qui obtient les meilleurs scores (en jaune) partout sauf en rapidité où la RV obtient le meilleur

score. Notons que, comparativement à la référence esquisse à la Main, la RV obtient des scores presque aussi bons sauf sur certains critères. La RV est jugée assez défavorable en *demande physique* (4), ce qui peut s'expliquer par la station verticale, les bras levés, et le port du casque attaché aux câbles et relativement lourd. La correction de ces points faibles semble prioritaire si l'on veut améliorer les performances en RV avec *VAirDRAW*. La RV est jugée très défavorable en Modification (2,86), ce qui peut s'expliquer car seule la dernière action est annulable alors qu'il aurait fallu pouvoir faire d'autres « *undo* ». L'absence de sélection partielle pour pouvoir effacer ou déplacer[612] était déplorée. La RV est jugée extrêmement défavorable en *Accessibilité*, ce qui peut s'expliquer par la raison évidente de la faible dissémination de casque de RV en agences d'architecture, et plus encore de modalité de *sketching* spatialisé comme proposé ici. Enfin, il a été demandé aux sept participants de classer les quatre modalités d'esquisse éprouvées par ordre de préférence. La main est classée première (1,43) à 57.15% puis seconde à 42,85%. La RV sur VAirDraw est classée première à 42.85% et deuxième 57.15% (1,57). La CAO-BIM a été classée troisième (3,43) à 57.15%, quatrième (dernière) à 42.85%. La DAO a été classée troisième à 42.85% et quatrième (dernière) à 57.15% (3,57). Pour simplifier, la modalité de référence, la Main, domine juste devant la RV ; ce qui semble encourageant pour cette nouvelle modalité qui obtient de bons résultats et bénéficie d'une grande marge d'améliorations. Les deux dernières modalités, DAO et CAO-BIM, sont nettement détachées en troisième et quatrième position.

[612] Ce que Hyve-3D peut faire. Cf. section 2.4.1

8. POSITIONNEMENT ET DISCUSSION

8.1. Discussion des résultats

Nous avons évalué le niveau de dialectisme de quatre modalités d'esquisse : la modalité de référence à la main, deux modalités classiques informatisées (en DAO et CAO-BIM), et le dessin spatialisé en RV. Nous avons établi un protocole comparatif destiné à en évaluer le degré de « dialectisme » sur la base de la grille annotative de Goldschmidt (1991). Le critère de la production d'arguments semble validé mais celle du changement de point de vue, la commutabilité, n'est pas acquis. Convenant que les commutations sont nécessaires au dialectisme, notre analyse n'a pas permis de produire une preuve irréfutable de sa valeur. Néanmoins, nos résultats et ceux de Goldschmidt convergent vers une proportion de commutations idéale du point de vue dialectique qui serait de 60%. Nous pensons que, si le critère de la quantité d'arguments est significatif tant au niveau individuel que sur la moyenne de tous les participants, le critère de commutabilité n'apparait comme significatif qu'à partir du moment où l'on considère la moyenne. Individuellement, ce taux de 60% apparait moins évident, ce qui est probablement lié à une plus forte dispersion des résultats. Le *sketching* spatialisé a présenté des caractéristiques « dialectiques » intéressantes, comme en atteste les scores de dialectismes (Cf section 7.4) que confirme les réponses des participants au questionnaire DialecBIM (Cf. section 7.5). Les scores de la RV avec le dessin spatialisé a obtenu un score presque aussi élevé que la modalité de référence, la Main. La surprise est d'autant plus grande que cette modalité d'esquisse en RV avec *VAirDRAW* à due être apprise et maîtrisée le jour même des passations, ce qui semblait pourtant être un handicap majeur. De plus, les critiques et requêtes des participants montrent les imperfections de ce système d'esquisse dans l'espace 3D, laissant augurer d'une marge de progression importante. Pour nuancer, précisions que les résultats détaillés de DialecBIM ont montré que la RV avec le dessin spatialisé est une modalité moins langagière que la Main, ce qui suppose qu'elle est plus graphique et imagée. Pour simplifier, nous dirions que la Main est, pour le moment, indépassable lorsqu'il s'agit d'accompagner le fil de la pensée du concepteur pour l'idéation, notamment pour des questions de rapidité et de suggestivité. Le RV semble moins rapide, à l'évidence plus lourde à mettre en œuvre comparativement à un simple crayon, plus affordant pour faire du projet architectural. Elle a toutefois été rapide à apprendre et facile à maîtriser et a semblée être rapidement adoptée. Sans conteste, le dessin spatialisé en RV est particulièrement performant face à un modèle 3D, en immersion en EV, et parait très performante face à un contenu contextuel stimulant l'analyse et l'imagination du concepteur.
Nous nous risquons à avancer que si la Main est la meilleure modalité d'esquisse pour converser avec son projet, la RV pourrait être la meilleure modalité d'esquisse pour converser avec la « situation de conception » (Schön, 1992) [613]. Dans le cas où le dialogue avec « une situation de conception » se fait au travers d'un tel contenu 3D, nous dirions que le dessin spatialisé

[613] Selon Visser, l'expression reprise par Schön (Schön, 1991) est dûe à Dewey (Visser, 2010, p. 2)

apparait plus performant, particulièrement lorsqu'il s'appuie sur un modèle photoréaliste (Kanade et al., 1995) parce qu'il permet de produire des dessins et des annotations en réaction de chaque stimulation provenant de ce modèle, contrairement à un modèle pauvre en « sémantique visuelle », tel un modèle CAO sans texture, qui serait inopérant (Schnabel et al., 2007, p. 12). Nous dirions alors que le crayon de la modalité d'esquisse à la Main parait plus projectuel, comparativement à la modalité en RV avec le dessin spatialisé qui semble mieux se prêter aux analyses de site et serait plus contextuel. Les essais effectués sur la base d'un modèle BIM chez ANMA montrent que le dessin spatialisé peut aussi supporter une forme critique de conception qui s'établirait en réaction à un support 3D. En somme, nous dirions que le dessin spatialisé trouve une utilité manifeste lorsqu'il s'agit d'établir un rapport dialectique avec un contexte restitué en 3D (e.g modèle photogrammétrique) ou une modélisation BIM (Cf. Figure 44 et Figure 45).

8.2. Articulation des résultats et de la méthode DialecBIM

La méthode DialecBIM proposée est la continuation du protocole expérimental élaboré par Goldschmidt (1991). Ce choix correspond au besoin que nous avions de pouvoir évaluer le dialectisme d'une modalité d'esquisse donnée. Il a paru intéressant de reprendre les grilles annotatives de l'époque et de réfléchir aux possibles apports. Ce qui a paru essentiel était de pouvoir compter les arguments de façon à pouvoir proposer un critère quantitatif « robuste » du Dialectisme basé sur la quantité d'arguments produits par différentes modalités dans des conditions comparables. Le dialectisme reposant aussi grandement sur la notion de changement de point de vue, nous avons proposé un deuxième critère relevant la proportion de commutations entre les arguments voir Comme et voir Que lors d'une passation. Nous avons nommé Commutabilité cette tendance d'un participant à user plus ou moins de ces changements de points de vue et il est apparu que cet indicateur tendait à 60% supposé être la meilleure proportion possible de commutation. Au-dessus, des fixations étaient observable par l'accumulation d'arguments unilatéraux, et en dessous de 60%, les commutations tendent à devenir excessives, trahissant une forme d'agitation. Ce deuxième indicateur parait moins robuste que celui de la quantité d'arguments mais il semble pourtant indispensable. Nous nous sommes sentis confortés par les résultats de Goldschmidt qui confirmaient les nôtres concernant la modalité Main, tendant clairement à 60% de commutations observées. D'autres indications secondaires ont pu être exploitées, notamment la « couleur » des arguments graphiques (noir), semi-graphiques et langagiers (gris foncé) et gris clair (gris clair). Comme Goldschmidt, nous avons alors pu observer que les arguments analytiques Que étaient plutôt gris foncé et que les arguments propositionnels ou créatifs Comme étaient plutôt noirs, mais pas dans les même proportions que celles de Goldschmidt. Dans les passations DialecBIM, une forte proportion d'arguments Comme sont apparu plus semi-graphiques et langagiers, c'est-à-dire que nous avons récolté moins d'arguments « noirs » que Goldschmidt. Nous imputons ce surcroit de parole essentiellement au rythme soutenu d'une passation DialecBIM qui dure quarante minutes contre plus de deux heures pour Goldschmidt. Nous touchons là une difficulté de l'exercice : en voulant suivre sept participants au lieu de trois en 1991, et en voulant évaluer quatre modalités d'esquisse au lieu d'une seule à l'époque, nous nous sommes trouvés confrontés à un problème d'organisation des passassions. Pour les ramener à la demi-journée, il a fallu optimiser les passassions et notamment la double validation de l'argument, la participant devant confirmer qu'il est Comme ou Que. Peut-être aussi avons-nous trop insisté sur le caractère ouvert et langagier d'une séance à voix haute (*Thinking aloud*). Peut-être encore avons-nous péché par le rythme ou le grain auquel nous avons cru devoir discerner l'argument. Ce point est délicat car, si nous voulons que l'expérience soit reproductible, il faudrait s'assurer de la « taille » de ce grain. A cet effet, il serait utile de fournir plus d'explications ou de procurer un document vidéo d'une passassion précédente pour renseigner un nouvel opérateur potentiel. Idéalement, le protocole est appropriable et peut être utilisé pour évaluer d'autres modalités d'esquisse (e.g avec des étudiants, sur tablette tactile, en RV avec station assise, etc.), ou sur

d'autre démonstrateurs scientifiques (e.g le Hyve-3D de Dorta). Malgré ces points probablement perfectibles, nous pensons que le protocole proposé a permis de situer les performances et le niveau de dialectisme des quatre modalités élues. Le DAO et la CAO-BIM n'ont pas eu les faveurs des participants pourtant concepteurs experts et opérateurs aguerris, qui ont aussi dit que ces outils n'étaient clairement pas faits pour la conception créative. Sur ce point, nous pourrions nuancer en rappelant la thèse contradictoire de Jonson considérant que la CAO et l'idéation créative ne sont pas antinomiques contrairement aux idées reçues (Jonson, 2005, p. 623). Nous suggérons que leurs interfaces seraient rédhibitoires conformément aux critiques de Beaudouin-Lafon (1997) mentionnées par Huot (Huot, 2005, p. 36) considérant que les logiciels souffrent d'un explosion de fonctionnalités impropre à l'idéation ou à la conception créative. Les résultats surprenants que nous avons obtenus en RV avec *VAirDRAW* montrent, justement, que l'informatique et le dessin d'esquisse ne sont pas antinomiques, et qu'une modalité d'esquisse de dessin informatisé mais libre, et spatialisé, est possible et potentiellement « bimable ». Dès le test de P0, nous avons constaté que cette modalité RV alliée au dessin spatialisé permettait de produire presque autant d'arguments que la Main. Nous y voyons plusieurs points intéressants. La marge de progression sera importante sachant que cette modalité a été découverte le jour des passassions et que les critiques formulées et les points d'améliorations ne semblent pas être totalement insurmontables. Ce qui parait également intéressant, c'est l'adéquation du dessin spatialisé aux tâches de conception basées sur un modèle 3D contextuel stimulant l'imagination, ce que nous avons pu observer sur un modèle urbain photogrammétrique, et il n'est pas déraisonnable de dire que cette adéquation pourrait fonctionner avec d'autres types de contenu 3D, BIM ou autres. Au lieu de paralyser le participant comme nous aurions pu le craindre, ce contenu 3D photoréaliste que nous avons fourni semble avoir montré l'intérêt du dessin spatialisé allié à l'immersion en RV qui ont très correctement soutenu les participants dans leurs tâches créatives.

8.3. Articulation entre les problèmes théoriques et DialecBIM

Les résultats obtenus ont confirmé la prévalence de la modalité Main, confirmant son statut de référence, et les mauvais résultats des modalités DAO et CAO-BIM. Des résultats surprenants, meilleurs qu'escompté, concernent la modalité RV qui atteint un niveau de dialectisme proche de la modalité de référence - la Main -, alors qu'elle était inconnue des participants. Nous avons constaté que le dessin spatialisé, appuyé par des modélisations photogrammétriques des sites, n'a pas entravé la créativité des concepteurs, qui semblent avoir plutôt apprécié la liberté offerte par le medium.

8.3.1. Expertise et situation de conception à la Main, en DAO, CAO-BIM et RV

L'état de l'art a permis de montrer que la conception architecturale est difficile à modéliser, et qu'elle peut être comparée à une forme de conversation avec le projet, ce pourquoi la Main a mieux performé, sans doute parce que sa rapidité et la faible charge cognitive qu'elle implique libère la parole qui est essentielle au dialectisme. La modalité RV avec le dessin spatialisé ont bien performé également, mais autrement, dans la mesure où, sans entraver la parole, elle a paru plus visuelle et contextuelle, ce qui s'est expliqué par l'originalité du dessin spatialisé qui est moins rapide que le dessin à la main à représentation égale. Le dessin spatialisé en EV s'expérimente facilement et permet une liberté expressive comparable au dessin à la main (Schkolne, 2002), et son apprentissage est rapide et intuitif (Wiese et al., 2010). La facilité d'apprentissage a permis une appropriation rapide et un plaisir manifeste de dessiner dans l'espace sur de grandes portions du modèle 3D. La 3D photogrammétrique a suscité de nombreuses phases d'observation et de prise d'information si bien que, même si elle n'était pas notre objet d'étude, nous avons trouvé que son impact mériterait d'approfondir le sujet : la modalité RV avec le dessin spatialisé semble très « contextuelle ». Inversement, le DAO s'est avéré insuffisamment intégratif et contre intuitif, son interface pléthorique étant sans doute en cause. Plus encore, la CAO-BIM a présenté une interface rédhibitoire et impropre à la conception créative. Ces deux outils logiciels aux interfaces WIMP se sont avérées a-dialectiques, ce qui est aggravé par leur absence de prise en compte de versions alternatives qui permettraient au moins de confronter des points de vue contradictoire, nous les avons parfois qualifiées de monosémiques, nous aurions pu les qualifier de moniste (Bouleau, 2015). Les dessins d'esquisse favorisent les transformations latérales qui correspondent à un déplacement créatif vers de nouvelles alternatives. La différence que supposent ces alternatives expriment une forme de confrontations d'idées de conception (Goel, 1995, p. 118). Les modalités Main et RV ont facilité la trouvaille d'une idée noyau (*kernel idea*) (Goel, 1995, p. 125) et de découvertes inattendues (Suwa et al., 2001) déclenchant des séquences particulièrement dialectiques qui ont renforcé la problématisation soutenant le projet (Dorst and Cross, 2001, p. 434). Le concepteur expert reconnait, selon Karz, plus rapidement les problèmes et les hiérarchise mieux (Purcell and Gero, 1998, p. 399), ce qui a paru plus vérifiable à la Main

qu'en RV, sans doute à cause des nombreux stimuli suscités par le modèle photogrammétrique. Pour cette même raison, l'expertise et ses connaissances du concepteur semblent avoir stimulé pour puiser dans son « répertoire » de solutions par analogie (Cf. section 1.2.3) (Schön, 1983, p. 138) (Casakin and Goldschmidt, 1999, p. 154), expérience qui aide sans doute l'expert à connaitre intuitivement les solutions *(way of knowing them*) (Cross, 1982, p. 223) qui sont assimilables à des connaissances tacites (Curry, 2014, p. 633). Rien ne permet de dire si les dessins spatialisés des experts correspondent mieux à leur imagerie mentale (Eastman, 2001, pp. 181–182) comme c'est le cas à la Main. Il nous a semblé que c'était le cas lorsqu'ils dessinaient sur le terrain du modèle, mais les choses étaient moins claires lorsqu'il s'agissait de dessiner, par exemple, des bâtiments en 3D. A cet effet, des fonctionnalités facilitant l'exécution de dessin spatialisé, comme le copier/coller, ou disposer de plus de niveaux d'annulation d'actions, la sélection, la suppression de portion, etc. seraient bénéfiques.

Nous pouvons rappeler les fondamentaux et les singularités de la conception architecturale vus au début de ce document pour poser des bases de ce que serait la conception créative (Cf. section 1). L'état de l'art rappelle que l'évènement créatif est défini comme un processus de traitement et d'affinement d'informations au cours duquel fini par survenir un moment décisif où l'une d'entre elle devient clé dans la constitution d'une idée-noyau (Goel, 1995, p. 126) ou générateur primaire (Darke, 1979). Cette information devenant idée de conception fonctionnant comme un nouveau postulat conceptuel ou un changement de point de vue. L'entrainement entre les phases de structuration et de résolution de problème répond au concept de co-évolution (Maher et al., 1996, p. 2) qui est lié à ces changements de point de vue. Schön voit la conception comme une conversation avec une situation[614] où, en réponse au contre-pied de la situation, le concepteur réfléchit en action sur la construction du problème projectuel, les stratégies d'action, ou le modèle des phénomènes (Schön, 1983, p. 79). Schön pose que le praticien expert de la conception mène une réflexion active en réaction à ce que lui oppose les découvertes, le menant à reconfigurer le problème de conception auquel il s'attèle. Pour faire des découvertes inattendues (*unexpected discoveries*, UxD) (Suwa et al., 2001, p. 3) le concepteur doit détecter les caractéristiques cachées d'une représentation visuelle et spatiale. Pour cela, il doit être en mesure de se défocaliser du point de vue dans lequel il avait l'habitude de regarder la représentation. Le pendant des découvertes inattendues seraient les fixations de conception (*Design fixation*) qui est le fait des experts, sans doute moins prompts à requestionner leurs choix. Le problème des fausses bonnes idées (*Einstellungseffekt*) (Luchins, 1942) préfigurait la fixation de conception qui désigne une adhésion aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts (Jansson and Smith, 1991, p. 3). Cette problématisation l'amène à corriger son point de vue et à composer une solution originale partiellement basée sur ses connaissances (Dorst and Cross, 2001, p. 434). Schön pose que le praticien expert de la conception mène une réflexion active en réaction à ce que lui oppose les découvertes, le menant à reconfigurer le problème de conception auquel il s'attèle. Cette problématisation l'amène à

[614] Selon Visser, la formule viendrait de Dewey (Visser, 2010, p. 2)

corriger son point de vue et à composer une solution originale partiellement basée sur ses connaissances.

8.3.1. Critiques de la modélisation BIM

Nous avons vu qu'il n'y a pas de définition unifiée de ce que serait le BIM, l'acronyme « *marketing* » forgé par un VP d'Autodesk est malheureux mais il a été adopté. Nous aurions préféré le terme de modélisation intégrative de Louis Destombes décrivant la concentration des géométries et des données, et des contributions hétérogènes au sein d'un modèle unique (Destombes, 2018, p. 4).

Concernant le BIM comme outil ou logiciel, nous reconnaissons les apports du BIM qui n'empêche pas la critique. La modélisation BIM accélère la conception architecturale et stresse la conception créative ; elle favorise les logiques d'exploitations plutôt que celles d'exploration. Surtout, nous insistons sur l'importance du gain de productivité permis par l'approche par modélisation qui soulage les architectes du fardeau de la tenue à jour de nombreux documents (Kiviniemi and Fischer, 2009, pp. 43–44) [615], et nous pensons que la modélisation supplante l'approche par représentation essentiellement pour cette raison que la tenue des documents est automatisée. Toutefois, nous considérons que l'implémentation du BIM entrave le processus d'idéation, notamment en début de projet, par l'exclusion latente du dessin et des solutions alternatives qu'il bloque « mécaniquement ». Nous avons eu des difficultés à départager la notion de modèle - qui évoque une norme plutôt « lourde » et contraignante - et celle de projet - qui évoque une règle du jeu plutôt « frugale » et permissive - (Choay, 1998). Les passations à la Main de DialecBIM nous ont rappelé que quelques traits suffisent à l'architecte pour élaborer une règle ou hypothèse de projet (Cf. Figure 55). Certains considèrent comme Garber (2013) ou Girard (2014) que, puisque le modèle BIM est intrinsèquement réel, l'interprétation n'est plus nécessaire, ce qui consacre la simulation condamne l'interprétation des dessins (Garber, 2009a, p. 239). Les passassions de notre protocole montrent au contraire que le dessin est incontournable et imbattable en conception créative mais sans doute aussi nécessaire lors du développement du projet en phase descriptive et prescriptive, ce que confirment nos résultats. Nos participants ont insisté pour bénéficier d'un crayon lors des passations DAO et CAO-BIM. D'autres critiquent le zèle des logiciels de CAO qui se comportent comme des assistants de dessin suréquipés, comportant des présupposés qui surdéterminent précocement la conception créative (Chupin, 2002, p. 67), d'autres font valoir que ce qui est commode pour l'informaticien ne l'est pas forcément pour l'architecte. (P. Boudon, 2003, p. 15). Nous avons observé lors des passations DialecBIM que les interfaces DAO et CAO-BIM surdéterminent la conception

[615] « La racine du problème réside dans la réduction d'un objet 3D complexe, le bâtiment, en de multiples représentations 2D, les dessins. Cela signifie que les mêmes éléments doivent être représentés dans plusieurs documents. A titre d'exemple simple, la position horizontale d'une fenêtre est présentée dans le plan, et sa position verticale dans au moins une élévation et une section et souvent dans plusieurs élévations et sections selon la géométrie du bâtiment (...) Il est facile de comprendre que cette documentation complexe et fragmentée constitue un problème. Tout changement peut affecter des dizaines de documents différents, et il y a des centaines ou des milliers de changements au cours d'un projet. Il est extrêmement important de se rappeler ou de reconnaître tous les documents qui doivent être mis à jour. » trad.Gouezou

créative en imposant une interface inadaptée, une profusion de fonctionnalités encombrantes qui gênent la cognition de l'architecte en phase créative. Ce que confirment nos résultats, les scores de dialectisme en DAO et CAO-BIM étant mauvais. Certains voient le BIM du point de vue des données, comme Daniel Hurtubise de RPBW ou Sampaio (Sampaio, 2018, p. 59). D'autres considèrent que la puissance de simulation de la modélisation BIM met fin aux pratiques fictionnelles du projet (Girard, 2014a, p. 256) : les vérifications d'hypothèses étant disponibles sur le champ, elles réduisent les incertitudes tendant à être réduites, l'architecte semble mis à l'abri des risques par la puissance prédictive de la simulation offerte par la modélisation BIM qui réunit à nouveau conception et construction. Nous avons observé que le maniement de la donnée et la puissance de simulation de la modélisation BIM, si elle est utile ensuite pour communiquer, n'est que d'un faible intérêt en phase de conception créative. Ce que confirment nos résultats, bien que nous nuancions en suggérant que des fonctionnalités favorables au *versioning* rendraient ces logiciels plus dialectiques, rien n'empêchant en principe le modèle d'être pluriel et critique (Bouleau, 2015). La littérature dépeint les logiciels de CAO comme plutôt rétifs à toute forme d'expression d'ambivalence, d'ambigüité ou de nuance; ce qui ne convient pas à la conception créative qui requiert de garder un grand nombre d'options ouvertes (Conan, 1990, p. 105) (Holzer, 2007, p. 4) (Crilly, 2015, p. 75)[616]. La modélisation BIM focalise l'attention du concepteur en la centrant sur le modèle devenu référent unique de la conception, qui annexe et automatise la production de documents graphiques en 2D, ainsi que quelques pièces écrites. Il est possible que le caractère littéral de la modélisation BIM (Garber, 2009a, p. 13)[617] (Girard, 2014b, p. 251.252) [618] tend à édifier, à « monumentaliser »[619] le projet prématurément sous la forme du cumul de géométries et d'informations décrivant l'ouvrage en fermant les options et alternatives. Le corolaire de cette marche forcée serait le caractère consensuel de la modélisation BIM critiqué par Estevez (2013), qui prône une forme plus dissenssuelle, plus conflictuelle, et, sans doute, pourvoyeuse de sens (Barthes, 1977, p. 31). Puisqu'il y aurait consensus autour du modèle, il n'y a pas de raison de revenir en arrière. Le modèle BIM affiche factuellement le résultat des dernières décisions connues telles qu'elles sont formalisées et apportées cumulativement au modèle de façon amnésique ou a-génétique (Scheer, 2014). Le modèle BIM permet mal de retracer le processus de conception et de comprendre le faisceau de décisions qui a conduit le projet à ce dernier état connu, le modèle est ininterprétable (Destombes, 2018) par la littéralité de sa description. Selon nous, la conception créative devrait être affirmée en tant que phase séminale et sanctuarisée, les choses s'y esquissent et s'y définissent en s'opposant les unes aux autres. Ainsi, des représentations dissensuelles (Estevez, 2013a, p.7) et ambigües devraient pouvoir aller à l'encontre de la modélisation BIM, et y réintroduire l'esprit de dialectique qui anime les esquisses architecturales. Michel Delplace d'ANMA (Cf. section 3.3.4) refuse de travailler sur des

[616] Cf. section 4.2.1
[617] Cf. section 3.3
[618] Cf. sections 4.1.2 et 4.1.3
[619] Cf. section 4.2.3

documents issus de modélisation BIM dans les phases de conception créative car ces documents surdéterminent la conception créative. Les critiques du participant P5 (Cf. section 7.1.3) vont dans ce sens, reprochant au logiciel de modélisation BIM de le pousser à peaufiner « comme en DCE », il juge l'outil « peu adapté pour l'esquisse », inappropriable intuitivement, occasionnant une perte de repère. L'interface du logiciel de modélisation BIM participe à la mobilisation excessive de l'attention du concepteur (e.g. le raisonnement logique, la mémoire de travail, la cognition visuelle) que nous avons appelé fixation d'interface pour désigner le dévoiement de l'attention du concepteur par son outil. Les résultats de DialecBIM montrent que la CAO-BIM est anormalement graphique, c'est-à-dire que les arguments ont été moins langagiers qu'ailleurs. Ce net surcroit d'entrées graphiques (noir) pour les arguments Comme en CAO-BIM montre que les participants ont rencontré des difficultés à trouver une formalisation satisfaisante de leurs idées. Les arguments Comme particulièrement graphiques (noir), au détriment du langage, traduisent un problème d'expressivité que confirme l'effondrement des arguments purement langagiers. Quarante minutes de passassion produisent deux fois moins d'arguments qu'en esquisse à la Main ou en RV, ce que nous avons imputé à la mauvaise expressivité et à l'interface peu adaptée aux tâches de conception créative. Ainsi, la rigidité de la modélisation BIM croise celle de l'interface envahissante de son logiciel. En conséquence, le projet souffre d'un déficit langagier, ce qui a pour effet d'occulter les points de vue alternatifs. Une image, et plus encore un modèle BIM, peuvent captiver l'attention du concepteur et causer une fixation (Cf. section 2.2.6). Le langage permettrait d'éviter les fixations de conception (*Design fixation*) (Cardoso and Badke-Schaub, 2009)[620] et libèrerait le langage et la pensée. Le langage permettrait de restaurer le combat argumentaire, dialectique, entre l'idée étudiée et ses alternatives, évoquant la co-évolution entre la structuration et la résolution de problème en conception (Maher et al., 1996, p. 2).

Concernant les questions liées à la notion de modèle, le saut dans l'inconnu que représentait le projet parait obsolète. D'autres considèrent que l'expertise n'est plus à la virtuosité du dessin et à son interprétation mais à la capacité à encoder les informations pertinentes (Garber, 2009a, p. 13), comme pour faire tendre le modèle vers le chantier, ce qui parait bien éloigné de nos préoccupations de la conception créative (Girard, 2014a, p. 256). Ce zèle balaie la relation triadique entre l'architecte (sujet), son projet, et le bâtiment d'étudié (objet) (Bachelard, 1934, p. 14). Cette triade sujet-projet-objet remise en question par la littéralité du modèle, le système sémantique et symbolique servant à la représentation (Pierce, 1978, p. 246) n'a plus cours et l'architecte est directement confronté à une simulation informatique de son bâtiment construit dans l'esprit de la phase chantier. Nous ne pensons toujours pas que le modèle numérique vaut la chose construite, le point de vue que nous intéresse est que l'architecte est en charge de la conception et non de la construction, et que la notion de projet reste le cœur de la conception architecturale. La modélisation BIM partage ceci avec le bâtiment réalisé, c'est qu'ils peuvent vus comme de simples représentations des

[620] Cf. les section 2.2.6 traitant du rapport entre la fixation d'une idée et la considération accordée à ses alternatives et 2.2.7 traitant du rapport entre dessin et langage.

intentions de projet de l'architecte-auteur, comme le propose Boudon : la conception précède toujours la construction (P. Boudon, 2003, pp. 12–13). Nous avons comparé le caractère monumental du modèle BIM à la vision moniste du modèle proviendrait du Positivisme et des visions conquérantes suivant la révolution industrielle, cette vision serait peu amène et peu ouverte au débat contradictoire (Bouleau, 2005, p. 465). Selon Bouleau, cette alliance moniste entre la science et l'industrie connaîtrait un relent actuellement dans les liens entre la vision néo-libérale associée au NTIC, à l'image, par exemple, du mouvement trans-humaniste, ou d'un pragmatisme conquérant, prompt à ringardiser l'« ancien monde ». Le parallèle avec l'injonction du passage au BIM est tentant. Bouleau, en défendant une forme plus ouverte, plurielle et contextualisée du modèle, doté d'un langage circonstanciel, et aussi empirique (Bouleau, 2001, p. 463), permet d'envisager une forme plus ouverte de la modélisation BIM, plus amène envers les points de vue contradictoires et tolérant une forme de dialectisme.

Concernant le BIM comme processus collaboratif de conception, nous avons vu que certains considèrent que l'outil est un levier de productivité idéal pour les petites agences (Robert, 2014), d'autres considèrent qu'il imposera la fin du travail solitaire[621] et, au-delà, marquera le fin de organisation séquentielle du travail - dont la loi MOP est le reflet – remplacé par l'interopérabilité inspiré de l'ingénierie concourante, où les acteurs travaillent en temps masqué (Cf. Figure 25). L'interopérabilité suppose une coordination précoce et constante qui peut rendre nerveux les architectes, leur rôle central s'en trouvant disputé face à des entreprises bien plus puissantes. Les cas d'étude lié à ANMA montrent toutefois que la responsabilité de l'esquisse incombe à l'architecte, et que, sans être réfractaire aux documents informatisés, le choix du dessin libre sur papier ou calque semble persister.

Concernant l'étiolement des pratiques du dessin qu'occasionnerait l'implémentation du BIM, rappelons que certains voient le dessin comme la finalité de la conception, pour arriver une « représentation satisfaisante de l'entité conçue » (Goldschmidt, 2004, p. 203), d'autres considèrent qu'il est nécessaire à la considération de points de vue variés (Baskinger, 2008, p. 29). Les passassions DialecBIM ont permis de voir que les participants nécessitaient un crayon pour les passations à la Main, en DAO et en CAO-BIM : en RV, l'apprentissage rapide et l'expressivité ont suffi aux participants. Le dessin prend en charge l'état d'ambiguïté, d'inachèvement et de flou (Deshayes, 2014, p. 77) qui permet de ne pas surdéterminer prématurément la conception, ce que confirment nos passassions. D'autres considèrent qu'une représentation optimale de la conception suppose l'équilibre entre l'information qu'elle véhicule et les questions qu'elle pose à un moment du processus de conception (Rieuf et al., 2017, p. 46). Cette quête du sens ou de l' « ADN » du projet est apparu lors de toutes les passassions, mais elle a été fortement entravée par les interfaces du DAO et de la CAO-BIM. En somme, la modélisation BIM va à l'encontre de ces préceptes et se prête mal à l'examen critique et dialectique, soutient mal la conversation avec la situation de conception.

[621] Thierry Parinaud in (Celnik and Lebègue, 2014, p. 343)

8.3.2. Potentiels de la RV et du dessin spatialisé

Nous avons abordé le dessin d'esquisse et ses réflexivités (Cf. sections 2.1 et 2.2), nous avons vu que le dessin d'esquisse est adapté aux tâches d'idéation, d'évaluation et de révision d'hypothèses architecturales. Ils font écho à l'imagination ou imagerie intérieure, et leur réflexivité joue un rôle dans les flux cognitifs, entre les mémoires de travail et de long terme (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010), en lien avec l'expérience et le langage ; les dessins d'esquisses aident à changer de point de vue, valent conventionnellement le bâtiment projeté, permettent l'épreuve d'idées de façon itérative et incrémentale et la découverte d'idées inattendues (UxD) (Suwa et al., 2001, p. 2) qui rendent une conception originale, parce qu'elle impose un nouveau point de vue qui reconfigure la problématique du projet architectural. Nous avons insisté sur les aspects réflexifs du dessin d'esquisse dont les qualités dialectiques sont particulièrement adaptées à la conception architecturale vue comme conversation avec une situation (Schön, 1992)[622]. Le concept de dialectique de l'esquisse suppose la réflexivité d'allers-retours entre le concepteur et son dessin d'esquisse, en une alternance de points de vue touchant le concepteur qui, tour à tour, génère une idée, puis l'analyse, puis la modifie jusqu'à la mise au point d'une nouvelle idée (Goldschmidt, 1991b). La confrontation de points de vue qui en résulte correspond au caractère dissensuel (Estevez, 2013b) de la représentation architecturale où l'opposition et les hiatus entre différentes propositions architecturales sémantisent le projet et ses composants. Nous avons écarté l'idée d'utiliser le dessin spatialisé pour modéliser des scènes en 3D, car l'expertise requise pour maîtriser cet objet d'étude nous est inaccessible, contrairement à d'éminents chercheurs (Singh et al., 2014) ou (Grossman et al., 2018b). Nous avons aussi considéré que c'est le rôle des logiciels de CAO de soutenir la modélisation géométrique. Nous avons situé notre recherche sur le dessin d'esquisse en EV relativement à l'implémentation du BIM parce que l'enjeu de son implémentation est évident mais que les approches critiques semblent manquer. Certaines approches de spatialisation du dessin consiste à dessiner en 2D, à plat, puis à les disposer dans l'espace (Dorsey, 2007) (Dorta et al., 2016). D'autres approches spatialisent directement les dessins, c'est-à-dire qu'ils sont exécutés dans l'espace même de l'EV selon les trois axes x,y,z (Schröder et al., 2001b). L'appréhension spatiale par l'immersion RV à l'avantage d'être personnelle et émotionnelle ; par les mouvements qu'elle autorise et les effets de parallaxe qui en résultent, elles permettent de s'approprier les espaces et la navigation dans l'EV. L'immersion en RV permet une meilleure appréhension de l'espace, performe mieux que les représentations traditionnelles, facilitant l'évolution et la manipulation du projet (Schnabel et al., 2007). L'immersion procure un *feedback* avec l'EV (Schnabel et al., 2008, p. 297). L'acuité des concepteurs serait augmentée par l'immersion en RV (Schneider et al., 2018, p. 106). L'intégration du BIM et de la RV via un CAVE soutient les sessions collaboratives de revue de projet en préservant l'expressivité des échanges interpersonnels (Yan et al., 2011, p. 448) par un lien « bidirectionnel » avec un poste classique doté d'un logiciel de modélisation en CAO-BIM

[622] Visser attribue la paternité de la formule reflective conversation with the situation à Dewey (Visser, 2010, p. 2)

(Kieferle and Woessner, 2015b). Bien qu'étant le moyen majeur d'expressivité graphique, le dessin d'esquisse, spatialisé ou non, n'est pourtant pas intégré. En parlant avec les participants de DialecBIM, il nous a semblé que le dessin spatialisé en RV ouvre un nouveau champ d'expression complémentaire, non concurrent des modalités traditionnelles comme la Main ; ce en quoi nous rejoignons Kieferle et Wössner qui considéraient la RV comme un champ d'expressivité complémentaire, et proposaient « sept lois »[623] pour utiliser la RV en architecture. La troisième de ces lois, *Show properties not appearance*, rappelle l'impression que nous avons eu sur *VAirDraw* de pouvoir rajouter une couche sémantique sur un ersatz de réel afin de révéler des idées ou propriétés invisibles. La RV offre une possibilité de développer et cartographier une représentation visuelle de ces propriétés (Kieferle and Woessner, 2001, p. 378) en une représentation visuelle (Lang, 1999). Vu ainsi, nous pensons aux passassions en RV avec *VAirDRAW* qui nous ont parfois plus évoqué une analyse et un projet urbain déambulatoires qu'à un projet architectural circonscrit, donnant l'impression que le participant se laissait emporter par de très nombreuses observations du modèle photogrammétrique, à l'image de nos propres tests (Cf. Figure 65). Le dessin spatialisé parait adapté aux tâches d'idéation, d'évaluation et de révision d'hypothèses architecturales, particulièrement sur la base d'un contenu 3D contextuel. Il semble avoir fait écho à l'imagination ou imagerie intérieure, et sa réflexivité, plus évidente à plat au sol que lorsque des volumes filaires étaient dessinés « en l'air », mais semble avoir soutenu les échanges entre les mémoires. D'après le modèle de Baddeley, les mémoires de travail et de long terme, les boucles phonologiques et visuo-spatiales (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010) semblent à leur aise autant à la Main qu'en RV, mais une évolution de ce modèle constituerait une piste d'étude particulièrement intéressante. Baddeley semble projeter d'intégrer la boucle kinesthésique aux boucles phonologiques et visuo-spatiales de son modèle de mémoire qui concernerait particulièrement la RV qui, à l'évidence, lie fortement l'expérience de l'espace, son repérage et sa navigation (O'Keefe et al., 2014b). L'expérience immersive et le sentiment de présence ont sans doute impliqué ces trois boucles mnémoniques (visuo-spatiale, phonologique, kinesthésique) liant temps et espace. Cette question des usages des mémoires du concepteur en EV ou RV aidé du dessin spatialisé constituerait une piste de recherche intéressante.

[623] Cf. note 257

8.4. Atouts et défauts du dessin spatialisé en RV

8.4.1. Sentiment immersif et modèle photogrammétrique

Les atouts de l'immersion en RV : le sentiment immersif explique, selon nous, le haut degré d'implication dont ont fait preuve nos participants. Ils ont semblé donner crédit au dispositif immersif lui-même ainsi qu'au contenu photogrammétrique qui leur a été fourni. L'implication et l'acuité des participants ont semblé augmentés par l'immersion en RV qui a fourni des points de vue stimulants la détection de problèmes (Schneider et al., 2018, p. 106). L'appréhension spatiale par l'immersion RV est personnelle (Turner and Turner, 2006) et émotionnelle (Slater and Wilbur, 1997, p. 4), par les mouvements qu'elle autorise et les effets de parallaxe qui en résultent. Elle offre une expérience dynamique de l'espace qui intègre différents sens (vision, kinesthésie) mais aussi le temps et l'espace repéré et navigué (O'Keefe et al., 2014b), ce qui nous a semblé manifeste lors des passassions : elle est affordante et les participants se l'approprient rapidement. Le caractère photoréaliste de la modélisation photogrammétrique renforce le crédit accordé à l'immersion en RV par les participants qui s'approprient la scène 3D grâce au caractère photoréaliste du contenu qui permet une meilleure appréhension de l'espace, performe mieux que les représentations traditionnelles, facilite l'évolution et la manipulation du projet (Schnabel et al., 2007, p. 12). Le contenu 3D réaliste permet une meilleure appréhension de l'espace, performe mieux que les représentations traditionnelles, facilite l'évolution et la manipulation du projet (Schnabel et al., 2007). L'immersion procure un *feedback* avec l'EV (Schnabel et al., 2008, p. 297) et l'acuité des concepteurs est augmentée par l'immersion en RV (Schneider et al., 2018, p. 106). A ce stade il n'est pas exclu que l'immersion en RV renforce aussi les flux mnésiques entre mémoire de travail et mémoire à long terme (Baddeley, 1992) (Baddeley, 2010), les participants n'ont pas parus « encombrés » ou perdus dans la scène ; au contraire, il ont semblés à leur aise pour travailler. Sheridan a décrit un sens de la présence en RV qui est déterminé par la perception visuelle et la perception du positionnement propre parmi des géométries liés aux mouvements par effet de parallaxe (Sheridan, 1992, p. 122). Nous attribuons à cet effet de parallaxe un rôle décisif dans le sentiment immersif et le plaisir qui peut en résulter, car il permet à la scène 3D d'être « vécue ». Nous avions vu dans la section 6.3.11 que la RV semble peser plus sur l'attention des participants mais pas forcément négativement. Nous supposons que les spécificités du dessin spatialisé font qu'il requiert plus de travail comparativement à la Main, plus rapide et suggestive. L'effet de découverte de cette nouvelle modalité en RV a pu peser sur l'attention, mais les participants ont plutôt loué son expressivité et sa rapidité (Cf. questionnaire section 7.5). Les défauts de l'immersion en RV : certains défauts sont apparus ou ont été signalés. La RV est jugée défavorable en Modification et en Accessibilité (Cf section 7.5), ce qui peut s'expliquer par la raison évidente du manque de maturité du dessin spatialisé pour les modifications et la faible dissémination de casque de RV en agences d'architecture. Le coût physique a été critiqué mais moins la station verticale que le poids du casque et ses entraves. Nous pensons qu'un dispositif en station assise pourrait bénéficier à l'usager,

notamment dans la durée. Concernant le modèle photogrammétrique, l'impossibilité de modifier le contenu 3D a été pointée par les participants dont certains auraient voulu, par exemple, pouvoir creuser ou modifier le site. Nous pensons que ce travail relève plus de la modélisation 3D et moins du *sketching*. Suite aux critiques et à la fatigue du testeur P0, nous avons conseillé aux participants de ne pas travailler à trop grande échelle de façon à garder le modèle à portée de bras. Le placement a semblé être un détail important. Pour pouvoir être à portée de bras, le placement idéal du site photogrammétrique doit être à hauteur de nombril de façon à garder les bras à une hauteur raisonnable. Ces précautions se sont avérées utiles car aucun participant n'a exprimé une telle gêne. La station verticale et la position haute des bras ont pu entrainer de la fatigue. Les retours des participants via le questionnaire (Cf. section 7.5) confirment que la station verticale, les bras levés, et le port du casque attaché aux câbles qui est relativement lourd seraient des points à améliorer.

8.4.2. Dessin spatialisé et modèle photogrammétrique

Les atouts du dessin spatialisé en RV : l'affordance du dessin spatialisé et les fonctionnalités proposées ont semblées intéressantes. Dans nos tests comme dans les passassions, l'acquisition de la maîtrise du dessin spatialisé n'a pas parue difficile et n'a pas a eu à souffrir de la comparaison avec la Main. Au contraire, le dessin spatialisé a semblé être considéré comme une modalité à part entière, relativement naturelle d'usage et qui semble particulièrement adaptée aux tâches de conception créatives sur la base d'un contenu 3D. Son apprentissage a paru rapide, son utilisation a semblé très rapide et performante, offrant l'expressivité graphique suffisante pour la séance de conception créative [624]. Les participants ont apprécié la modalité de dessin spatialisé pour son adéquation au travail sur support photogrammétrique en 3D, et son expressivité. Ils ont semblé absorbés par le dessin spatialisé qui a, toutefois, mobilisé plus d'attention que le dessin à la main, ce qui pourrait être compensé à l'usage, une fois passé l'effet de nouveauté du dessin spatialisé. Peut-être aussi devons-nous rappeler que, pour dessiner un même objet, la représentation en perspective 2D sera toujours plus rapide que le dessin spatialisé qui nécessite de dessiner tous les traits en vraie grandeur. Les participants ont semblé absorbés par le modèle photogrammétrique dont le faible niveau de définition ne l'a pas empêché d'inspirer des idées, de susciter des découvertes, des annotations et du dessin. En RV, le site entier étant plutôt à portée de bras, l'attention est très sollicitée et peut être plus facilement captée en renforçant les phases d'observation, mais aucun déséquilibre excessif entre création et analyse n'a été observé, ce qui est encourageant. Nous soumettons l'hypothèse que cette scène photogrammétrique réunit l'essentiel des informations, topographiques, de hauteur et nombre d'étage des bâtiments ainsi que leur qualité (bureaux, logements, services, etc.) ; ainsi que les informations liées aux qualités végétales, routières, etc., dont a besoin l'architecte pour esquisser. Comparativement à la prise d'information classique que nous qualifierions de fragmentaire, l'approche par représentation est plus morcelée, séparant les informations sur de nombreux documents (e.g plans topographiques, photos de site,

[624] Cf. section 6.2

parcellaire, voiries, etc.). La réunion de tous les aspects visibles du site par le modèle photogrammétrique constitue une avancée et un gain de temps que nous n'avions pas prémédité mais qui s'avèrent intéressants. Suite aux critiques et à la fatigue du testeur P0, nous avons conseillé aux participants de ne pas travailler à trop grande échelle de façon à garder le modèle à portée de bras. Ce qui nous amène à la question de l'échelle.

Les défauts du dessin spatialisé en RV : Outre les bras levés, nous avons cru comprendre que le dessin spatialisé à grande échelle, *a fortiori* en vraie grandeur, n'apportait rien à la conception ; au contraire, elle semblait être peu performante, conformément à l'étude de Grossman et Singh :

> « full-scale design in VR is not a good strategy, if precision is desired. Instead, we suggest that VR design tools allow users to draw in a small manageable scale to improve accuracy and comfort, while allowing users to quickly switch to full-scale view to utilize the visualization benefits afforded by VR [20, 36]. » (Grossman et al., 2017b, p. 10) [625]

Singh pense que le travail à grande échelle n'apporte rien à la précision et au confort, et suggère qu'il est plus lent. Nous pensons que le travail à échelle 1 n'apporte rien non plus à l'esquisse, sauf dans les cas de communication de projet, par exemple avec des clients. Pour la conception créative, mieux vaut réduire le modèle photogrammétrique à l'échelle du bras et le hisser à la hauteur de la taille pour optimiser les mouvements de bras. Le point de vue divergent de Woessner et Kieferle (2016), favorables au dessin à l'échelle 1, est lié aux sessions collaboratives de revue de projet qui sont plus techniques et n'impliquent pas que des architectes. La détection d'incohérences entre des éléments architecturaux et techniques (*clash detection*) est liée à une forme mature de modélisation BIM sans grands rapports avec la conception créative. Nous rappelons l'avis contradictoire d'Olivier Demangel jugeant que la force principale de la VR était de permettre d'accéder à la conception en vraie grandeur (Demangel, 2015), ce à quoi nous objecterions que c'est surtout vrai pour la communication, et moins pour la conception créative. Dans le cas de la conception créative, nous considérons que l'adaptation de l'échelle mettant le modèle 3D à portée de bras dessinant est plus adaptée. Concernant l'interface de *VAirDRAW*, les tests des outils sur la palette (Cf. Figure 62) portée sur la main gauche montrent leur rôle secondaire : l'essentiel des déplacements ou zoom, et actions de dessin sont exécutés par le biais des manettes ou contrôleurs. Nous pourrions y voir le signe que le dessin spatialisé est utilisé naturellement. Plus d'investigations permettrait de déterminer si ces palettes sont optimales. Concernant les modifications, la RV a été jugée très défavorable, ce qui peut s'expliquer par le manque de degré d'annulation des actions, seule la dernière étant annulable. D'autres « *undo* » seraient requis. L'absence de sélection partielle pour pouvoir effacer ou déplacer[626] était également

[625] « la conception à échelle réelle en RV n'est pas une bonne stratégie, si la précision est requise. Au contraire, nous suggérons que les outils de conception en RV permettent aux utilisateurs de dessiner à une petite échelle gérable pour améliorer la précision et le confort, tout en permettant aux utilisateurs de passer rapidement à la vue à échelle réelle pour bénéficier des atouts offerts par la VR » Trad.Gouezou

[626] Ce que Hyve-3D peut faire. Cf. section 2.4.1

déplorée qui aurait pourtant été utile pour copier-coller ou effacer. A ce stade, rien n'interdit de penser que la modalité RV avec *VAirDraw* ne pourrait obtenir de meilleurs scores en Dialectisme que la modalité main, d'autant qu'une marge importante d'améliorations, notamment concernant les critères de Demande physique et en Modification (Cf. section 7.5). Des fonctionnalités de copier/coller seraient intéressantes car, dans le cas d'une esquisse urbaine, elles auraient permis d'optimiser le dessin d'un volume pour le dupliquer en tant qu' élément répétitif, par exemple pour dessiner une série de bâtiments identiques. Pour le moment, *VAirDRAW* impose de recommencer chaque volume. L'accessibilité au dispositif de dessin spatialisé en RV est décrite comme faible par les participants marquant sa faible dissémination. Notons aussi que cette modalité devra pouvoir bénéficier de l'effet d'apprentissage.

En définitive, l'apport principal de l'immersion pour la conception est la meilleure perception spatiale décrite comme plus émotionnelle et perceptuelle (Schneider et al., 2018, p. 106). Cet avantage de l'immersion propre à la modalité RV cumulés aux atouts du dessin spatialisé laissent augurer d'une marge de progression intéressante, à la condition de corriger les défauts majeurs et apporter de fonctionnalités manquantes (e.g pour annuler, sélectionner des traits, effacer, copier/coller, modifier le modèle photogrammétrique, interface des palettes, etc.).

8.5. Préconisation pour un outil de sketching spatialisé bimable

En s'affranchissant de cette référence à la Main, on peut faire valoir les atouts de la RV avec le dessin spatialisé comme une modalité supplémentaire offrant d'autres atouts et points de vue sur la situation de conception car elle est particulièrement adaptée au travail basé sur un contenu 3D, photogrammétrique, BIM ou autre. Le dessin spatialisé en RV semble idéal pour converser avec une situation de conception. Il nous semble aussi que, même si aucun participant ne s'en plaint, le contrôleur manuel du dispositif HTCvive® qui occupe tous les doigts ne serait pas optimal pour dessiner ; il serait intéressant de le comparer avec un dispositif plus intuitif, plus proche du dessin à la main traditionnel. Samuel Degrande avait développé un système plus fin, trackant chaque doigt, pour une version antérieure de *VAirDRAW*, et il a été discuté de tester une prochaine version avec un contrôleur de type *pen*. Libérer la main de la préhension du contrôleur Vive pour le remplacer par un contrôleur proche d'un crayon permettrait peut-être de rendre à la main son expressivité : il serait alors intéressant de voir si le dessin spatialisé peut devenir plus « projectuel » sans perdre ses avantages « contextuels ». Il a aussi été question de procurer à l'utilisateur un système de prise de notes basé, par exemple, sur de la reconnaissance vocale, permettant à cette note « langagière » d'être disposée spatialement en un point précis de la scène. Par analogie avec le dessin à la main, le dessin spatialisé pourrait bénéficier de fonctionnalités de *versioning* susceptible de soutenir la comparaison d'artefacts graphiques illustrant une idée contre une autre (e.g. effacement, le copier/coller, calque, superposition, etc.), mais peut-être aussi le rappel de versions antérieures, par exemple au moyen d'une partition de l'écran ou bien d'un insert d'une image de la scène antérieure dans la scène actuelle. En principe, de telles fonctionnalités de comparaison bénéficieraient aussi grandement aux logiciels de CAO-BIM. L'approche de dissensualité ouvre la voie à une dialectique qui - rappelons-le - n'a pas pour but d'affaiblir le projet ou de la ralentir, mais de le renforcer en le mettant à l'épreuve. Conformément aux préceptes du modèle critique de Bouleau qui suggère de travailler sur des modèles concurrents (Bouleau, 2005, p. 464), il suffirait qu'une modélisation BIM soit facilement comparable à une autre version concurrente pour que commence à s'établir une approche dialectique.

9. CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans cette thèse explore les questions de l'adéquation, et de l'inadéquation, des outils informatiques aux tâches créatives. La modélisation BIM qui parait performante pour les phases d'étude avancées du projet semble inadaptée aux premières phases de conception créative, étant trop consensuelle pour offrir la dialectique nécessaire à ces tâches créatives. Il en a résulté deux problèmes. Le premier est d'ordre méthodologique, la méthode DialecBIM proposée cherchant à savoir comment évaluer le niveau de dialectisme d'un mode d'esquisse donné. Le second est d'ordre expérimental : présupposant que le dessin spatialisé est potentiellement « bimable », il a fallu adapter *VAirDRAW*, un outil pensé pour une artiste, aux besoins des architectes. La méthode DialecBIM a permis d'évaluer le niveau de dialectisme de la modalité d'esquisse que nous avons proposé en RV avec le dessin spatialisé, en comparaison avec d'autres modalités usuelles, comme la Main, le DAO et la CAO-BIM. Dans nos conclusions, nous rappelons les liens historiques et les problèmes liant les domaines de la conception et de l'informatique dont l'IHM, ainsi que les apports du dessin spatialisé à une forme critique de conception architecturale basé sur un contenu 3D contextuel. Nous concluons ensuite sur notre proposition de ce que pourrait être une modalité de dessin spatialisé adapté aux besoins des architectes en phases créatives avec des tendances, des recommandations et des réflexions qui permettraient, au-delà de *VAirDRAW*, de rapprocher l'IHM et la conception architecturale dans ce qu'elle a de plus spontané, lors des commencements du projet. Nous concluons enfin sur une discussion à propos de notre proposition de la méthode d'évaluation du degré de dialectisme d'une modalité d'esquisse donnée, DialecBIM, qui reprend les travaux de Gabriela Goldschmidt (1991), *The Dialectics of sketching*, en les adaptant à nos besoins de façon à pouvoir considérer des éléments quantitatifs et produire un score de dialectisme.

9.1. Problème général

Les liens entre les domaines de conception (*design*) et de l'informatique datent des années 60 (Coons, 1963) (Sutherland, 1968) (Fetter, 1964). De nombreux travaux ont depuis porté sur l'informatisation du dessin d'esquisse, dont beaucoup abordaient la question de la créativité sans jamais atteindre un stade de dissémination significatif. Il a fallu attendre l'essor des logiciels de DAO et de CAO pour la conception pour voir la dissémination de l'informatique pour la conception architecturale dans des années 80, toujours en évolution depuis. Paradoxalement, ils semblent avoir installé une routine d'interface et de fonctionnalités croissantes indiquant qu'ils sont destinés aux phases d'études avancées du projet, phases descriptives et prescriptives, et non pas aux premières phases créatives. C'est là que se pose notre question initiale : peut-on transposer le dessin à la main en informatique ? Nous avons considéré comme problématique la tendance sous-jacente, presque omniprésente, à l'optimisation manifeste dans la plupart des articles dédiés au BIM, considérant qu'elle correspondait à des objectifs performanciels aidant au gain de productivité, à la maximisation de profits et, à terme, à des réductions d'effectifs. Nous avons tenté de promouvoir une approche

inverse de l'informatique basée sur un abord moins contraignant et plus créatif de l'informatique dédiée à la conception architecturale, ce que le sous-domaine de l'IHM rendait possible. Les modalités de dessin d'esquisse associées à la dissémination des casques de RV donnaient opportunément accès à une forme spatialisée du dessin. Au-delà du symbole qui nous parait important, nous avons cherché à utiliser ces nouvelles modalités de dessin spatialisé opportunément pour contester l'intégrité trop précoce des modélisations BIM. Nous avons alors proposé un état de l'art portant sur plusieurs points. Après avoir abordé des fondamentaux de la conception architecturale, nous avons abordé la question du dessin d'esquisse comme *medium* majeur pour les tâches de conception créative comme l'idéation. Nous avons abordé diverses expériences d'informatisation du dessin d'esquisse et nous avons vu que le dessin spatialisé devenait accessible. Après avoir critiqué le caractère « monumental » et « consensuel » des modélisations BIM en argumentant qu'elles convenaient au chantier mais pas à l'esquisse, ce travail de recherche a conduit à l'hypothèse générale que le BIM et la conception créative ne sont pas antinomiques. Sous une autre forme, le dessin d'esquisse peut s'imposer pour aller à l'encontre de la modélisation BIM et lui apporter le « débat contradictoire » qui lui manque. Nous avons soumis l'hypothèse qu'il pourrait tout à fait exister au moins un mode « bimable » de dessin d'esquisse. Par « bimable » nous entendions une forme de dessin d'esquisse libre, opposable à la modélisation BIM sans chercher nécessairement ni à interagir avec la base de données du modèle, ni à transformer les géométries. Nous avons considéré que l'objet de notre recherche n'était pas de refaire par l'IHM ce que font les logiciels de modélisation BIM. Le postulat n'était pas non plus de viser l'interopérabilité mais, presque au contraire, une forme d'expression dissensuelle et contradictoire à la modélisation BIM. Comme Goldschmidt, nous avons considéré la réciprocité dialectique comme une caractéristique majeure du dessin d'esquisse, nous avons focalisé notre étude sur ce critère de réciprocité « dialectique ». Nous avons ainsi pu voir que la modalité de dessin que nous que nous avons utilisé en RV et que nous avons nommé « dessin spatialisé » est particulièrement adaptée aux tâches d'esquisse basées sur un contenu 3D, telle une maquette photogrammérique ou une modélisation BIM.

9.2. Limites et ambitions

Intégrer le dessin spatialisé en EV et les modèles 3D dont les modélisations BIM

Les bons scores obtenus en RV, qui est une modalité inédite découverte lors des passations, laissent augurer d'une marge importante de progression. Cette conclusion corrobore l'étude de Eva Wiese et al (Wiese et al., 2010) qui avaient démontré que l'apprentissage du dessin « immergé » en RV est rapide, et que les esquisses immersives s'améliorent rapidement avec le temps, à l'opposé des conclusions d'autres études tentant de démontrer que l'apprentissage était, au contraire, entravé par la charge sensorimotrice. Les résultats de cette étude ont révélé une amélioration de la précision et de l'uniformité des objets esquissés au fil du temps. Cela confirme l'hypothèse selon laquelle les compétences sensorimotrices des utilisateurs en matière

d'esquisses immersives s'améliorent rapidement avec le temps. Nous pourrions supposer que l'acquisition de la maîtrise du dessin spatialisé en RV et les améliorations nécessaires lui donnerait un avantage comparativement à la Main. Les « points faibles » de la RV relevés par les participants sont améliorables : comme passer de la station verticale à la station assise, tester un contrôleur moins grossier et plus proche de la finesse du dessin à la main, limiter les bras levés, et faciliter le port du casque. Les « points faibles » du dessin spatialisé améliorables seraient les fonctions permettant d'annuler et sélectionner des traits, d'effacer, de copier/coller, et d'optimiser l'interface des palettes. Les « points faibles » de la maquette photogrammétrique améliorables semble être sa faible définition et, surtout, la possibilité de modifier sa géométrie, par exemple de décaisser une zone. Ce point pose problème dans la mesure où nous avons souhaité éviter de devoir prendre en charge des tâches de modélisation géométrique.

Consolider la méthode dialecBIM

L'indicateur de commutabilité devrait être confirmé en priorité au moyen de passations supplémentaires, au moins à la Main et éventuellement en RV, l'objectif étant de vérifier la proportion de 60% comme proportion de référence des commutations entre Comme et Que. DialecBIM consiste à adapter la méthode et le grille annotative de Goldschmidt (1991), nous l'avons conçu comme une méthode réactivée et adaptée pour pouvoir évaluer tout type de modalité d'esquisse. Celles que nous avons choisi d'évaluer sont la Main qui permet de comparer nos passassions à celles de Goldschmidt et de consolider des résultats faisant référence, le DAO qui permet d'évaluer une modalité informatisée basée sur le principe de représentation, la CAO-BIM pour évaluer une modalité basée sur le principe de modélisation, en plein essor mais en déficit de critiques. La quatrième et dernière modalité en RV et dessin spatialisé permet d'évaluer une modalité informatisée naissante, offrant une spatialisation du dessin libre directement dans l'espace même du modèle 3D sur la base d'un contenu photogrammétrique particulièrement contextuel. Les scores obtenus que nous avons soumis à la discussion pourraient servir à d'autres investigations. C'est, selon nous, une façon de garder la porte ouverte à d'autres possibles évaluations (évaluer des étudiants, réévaluer *VAirDraw*, *VAirDRAW* en station assise avec un stylet, d'autres modalités RA, le Hyve-3D de Dorta, etc.). Nous avons vu les difficultés (problème du temps de passassion, de la « comparabilité » , de la constance dans la façon de relever les arguments, les singularités naturelles des candidats etc.). Cette méthode DialecBIM peut être améliorée avec la visée de promouvoir une vision non aliénante des outils informatiques pour les architectes-utilisateurs.

10. LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 Modèle d'exploration de problèmes de conception (Maher et al., 1996, p. 28) 36
Figure 2 modèle graphique de Rusch 52
Figure 3 adaptation du modèle de Rusch par Herbert 53
Figure 4 Modèle de Baddeley réactualisé (la mémoire tampon épisodique). 70
Figure 5 tableau (*table 6*) « Pourcentages d'occurrence de catégories d'action ». 73
Figure 6 diagramme annotatif de Goldschmidt. 100
Figure 7 *the Boeing Man* de William Fetter, 1960. 125
Figure 8 Ivan Sutherland, *Sketchpad*. 1964 126
Figure 9 taxonomie de courbes dans l'étude True2form 128
Figure 10 Montage des figures 2 (profondeur de champs) et 6 scène reconstituée 138
Figure 11 Lift-Off : spatialisation de courbe. Crédit photo Keefe & Jackson 150
Figure 12 Dreamsketch. Crédit photo Autodesk 151
Figure 13 Démonstrateur de *Forte* : variantes de structures. Autodesk 153
Figure 14 Session de modélisation 3D en RV sur Archispace VR de Hanegraaf. 154
Figure 15 Image promotionnelle de TiltBrush® de Google. Crédit photo Google 156
Figure 16 création *Asteroid* d'Elizabeth Edwards sur Tilt Brush Elizabeth Edwards® 156
Figure 17 outils utiles de Tilt Brush® pour l'architecture 157
Figure 18 extrait d'une création de Goro Fujita sur Quill® . Crédit photo Goro Fujita® 157
Figure 19 *ribbon-like dual-controller sculpting process*. Crédit photo Gravity sketch® 158
Figure 20 démonstration de copier-coller et de *form finding* Gravity sketch® 158
Figure 21 image promotionnelle de VRSketch Baroque Software® 159
Figure 22 Tableau récapitulatif des outils de conception en VR *Agile Lens*© 159
Figure 23 extrait d'une conférence donnée par Alex Coulombe de *Agile Lens* 170
Figure 24 diapositive du TD "Zoom sur les IFC" de Bernard Ferries® 186
Figure 25 courbe de Mac Leamy. 191
Figure 26 représentation d'un angle de mur en brique sous Autocad2015® 203
Figure 27 spécification du mur composite sur Revit2017® . Crédit image Vincent Gouezou 204
Figure 28 modélisation d'un angle de mur en brique sous Revit2016® 205
Figure 29 « versioning » du plan masse sur calque d'étude. 206
Figure 30 « versioning » du plan d'étage courant sur calque d'étude. Cyril 206
Figure 31 travail sur les jeux de toitures. 207
Figure 32 modifications de toitures sur la perspective d'angle. ANMA®……..207
Figure 33 annotations à la main sur la base d'édition de nomenclature de surfaces. 208
Figure 34 plan masse Bordeaux La Jallere. Zone constructible A1. Crédit image ANMA® . 209
Figure 35 plan de trame de sous-calque sur fond blanc 210
Figure 36 premier concept émergent de la trame 210
Figure 37 n°4. consolidation du concept de gradation par décalage des façades sur rue 211
Figure 38 n°5, contextualisation du concept avant versioning. Crédit image ANMA® 211
Figure 39 versioning en plan sur calque posé puis décalé sur le fond de plan. 212

Figure 40 correspondance de deux versions en maquette avec leur plan coloré respectif 213
Figure 41 détail de la version "V1" 213
Figure 42 trame de sous calque exécuté sur Revit 214
Figure 43 persistance de la pratique de dessin à la main en phase descriptive 241
Figure 44. séance de test de *VRairDraw* par Nicolas Michelin au sein d'ANMA 287
Figure 45 test de revue d'un projet de la tour de la Défense. 288
Figure 46 test non-concluant de *VAirDraw* sur plan. Crédit photo Vincent Gouezou 288
Figure 47 Tableau programmatique pour chaque modalité d'esquisse 291
Figure 48 Extrait du diagramme annotatif de Goldschmidt 294
Figure 49 Adaptation de la grille annotative de Goldschmidt avec comptage et indicateurs 295
Figure 50 Retranscription des passations de Goldschmidt (1991) 296
Figure 51 Tableau-résumé des scores et indicateurs des passassions 297
Figure 52 Arguments Comme et Que détaillés 297
Figure 53 dossier synthétique Europan14 analysant le site d'Angers. Crédit photo Europan 301
Figure 54 fournitures pour l'esquisse à la main. Crédit photo Vincent Gouezou 301
Figure 55 test du protocole Main (site Europan14 d'Angers). Esquisse du P0. 302
Figure 56 autorisation d'accès aux fonctionnalités de Géoportail. 302
Figure 57 test du protocole DAO sur le site Europan14 d'Aurillac 303
Figure 58 test du protocole CAO-BIM sur le site Europan14 de Bègles. 303
Figure 59 test de superposition du nuage de points sur fond de plan dwg. 304
Figure 60 test du protocole RV sur le site Europan14 de Grigny-Ris Orangis 305
Figure 61 test des fonctionnalités d'affichages de documents 306
Figure 62 outils sur palettes. Crédit image Samuel Degrande 307
Figure 63 test du site Europan14 de Grigny et Ris Orangis en maillage texturé 308
Figure 64 test de qualité d'affichage. 308
Figure 65 test personnel d'esquisse en dessin spatialisé. 309
Figure 66 Calendrier et ordre de passation 310
Figure 67 Déroulé par modalité 310
Figure 68 assignation de site Europan 14 selon la modalité d'esquisse 311
Figure 69 Programmes détaillés par site 311
Figure 70 Grille annotative à la Main sans indicateurs 313
Figure 71 Comparaison de la répartition des arguments par entrée 314
Figure 72 Résumé des scores d'arguments à la Main : totaux, moyenne, écarts-type 314
Figure 73 Graphique des scores d'arguments Comme et Que à la Main 315
Figure 74 Grille annotative à la Main avec indicateurs 315
Figure 75 Grille annotative en DAO sans indicateurs 316
Figure 76 Comparaison de la répartition des arguments par entrée entre Main et DAO 317
Figure 77 Résumé des scores d'arguments en DAO: totaux, moyenne, écarts-type 317
Figure 78 Graphique des scores d'arguments Comme et Que en DAO 317
Figure 79 grilles annotatives monitorant le *sketching* en DAO avec indicateurs 318

Figure 80 Grille annotative en CAO-BIM sans indicateurs 319
Figure 81 Comparaison de la répartition des arguments par entrée 319
Figure 82 Résumé des scores d'arguments en CAO-BIM : totaux, moyenne, écarts-type 320
Figure 83 Graphique des scores d'arguments Comme et Que 321
Figure 84 grilles annotatives monitorant le *sketching* en CAO-BIM avec indicateurs 322
Figure 85 Grille annotative en RV sans indicateurs 323
Figure 86 Comparaison de la répartition des arguments par entrée 323
Figure 87 Résumé des scores d'arguments en RV: totaux, moyenne, écarts-type 325
Figure 88 Graphique des scores d'arguments Comme et Que 326
Figure 89 grilles annotatives monitorant le *sketching* en RV sur *VAirDraw* 326
Figure 90 Décompte du nombre de Tierces, Paires et Unités d'arguments 327
Figure 91 Décompte par modalité du nombre de Tierces, Paires et Unités d'arguments 328
Figure 92 Synthèse des qualités d'entrée d'argument 328
Figure 93 Répartition des entrées d'arguments isolés (Unité) par modalité d'esquisse 329
Figure 94 Répartitions des arguments isolés 329
Figure 95 synthétique des arguments décomptés par modalité 330
Figure 96 Courbes de production d'argument par modalité 330
Figure 97 Résumé des scores d'arguments Comme (rouge) et Que (bleu) 331
Figure 98 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée à la Main 331
Figure 99 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en DAO 332
Figure 100 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en CAO-BIM 332
Figure 101 Quantité moyenne d'arguments avec qualités d'entrée en RV 332
Figure 102 Tableaux-résumés des scores principaux par participant et scores moyens 333
Figure 103 Mesures en pourcentage de la Commutabilité par modalité 335
Figure 104 Mesures en pourcentage de la Commutabilité 336
Figure 105 Comparaison des courbes de Commutabilité 336
Figure 106 Moyenne de commutabilité avec (à gauche) et sans P2 (à droite) 337
Figure 107 courbes de commutations Comme et Que des quatre modalités 338
Figure 108 scores des arguments par modalité valant 340
Figure 109 scores des arguments par modalité sans P2 341
Figure 110 Exemple d'échelle de correspondance en % et un score de Commutabilité 341
Figure 111 Score de Commutabilité Main 342
Figure 112 Score de Commutabilité DAO 342
Figure 113 Score de Commutabilité CAO-BIM 342
Figure 114 Score de Commutabilité RV 342
Figure 115 Score de Commutabilité des modalités d'esquisse sur 1 343
Figure 116 Score de Commutabilité sur 1 sans prise en compte des résultats de P2 343
Figure 117 Scores de Dialectisme 343
Figure 118 scores de Dialectisme sans P2 344
Figure 119 Réponses au Questionnaire d'évaluation et préférence 345

Figure 120 classement moyen des quatre modalités selon 16 critères 345

11. BIBLIOGRAPHIE

44screens, 2013. 3/3 Réalité augmentée et réalité virtuelle : usages et définition [WWW Document]. URL http://44screens.com/fr/news/realite-virtuelle-definition/ (accessed 9.29.16).

ADVANCITY, 2007. Communic, Collaboration par la Maquette Multi-Usage Numérique et l'Ingénierie Concourante (Projet ANR No. ANR-06-RGCU-002). ANR, Paris.

AIA, 2014. Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States - National BIM Standard - United States". Nationalbimstandard.org. Retrieved 17.

Akin, O., 1987. Expertise of the Architect. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-605110-0.50012-4

Alexander, C., 1977. A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction, Center for Environmental Structure Series. Oxford University Press, Oxford.

Anderson, R.E., Helstrup, T., 1993a. Chapter 8 Multiple Perspectives on Discovery and Creativity in Mind and on Paper, in: Roskos-Ewoldsen, B., Intons-Peterson, M.J., Anderson, R.E. (Eds.), Advances in Psychology, Imagery, Creativity, and Discovery. North-Holland, pp. 223–253. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60144-2

Anderson, R.E., Helstrup, T., 1993b. Visual discovery in mind and on paper. Mem Cogn 21, 283–293. https://doi.org/10.3758/BF03208261

Arnheim, R., 1993. Sketching and the Psychology of Design. The MIT Press, Design Issues 9, 15–19.

Arnheim, R., 1966. Towards a psychology of Arts. University of California Press, Los Angeles.

Arnheim, R., 1943. Gestalt and Art. The Journal of Aesthetics and Art Criticism 2, 71–75.

Azhar, S., Hein, M., Sketo, B., 2008. Building Information Modeling (BIM) : Benefits , Risks and Challenges.

Bachelard, G., 1934. Le Nouvel Esprit scientifique. PUF, Paris.

Baddeley, A., 2010. Working memory. Current Biology 20, R136–R140. https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014

Baddeley, A., 1992. Is Working Memory Working? The Fifteenth Bartlett Lecture. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A 44, 1–31. https://doi.org/10.1080/14640749208401281

Barthes, R., 1977. Le Neutre, cours au collège de France. Seuil Traces écrites, Paris.

Baskinger, M., 2008. COVER STORY: Pencils Before Pixels: A Primer in Hand-generated Sketching. interactions 15, 28–36. https://doi.org/10.1145/1340961.1340969

Basque Research, 2007. Using Computerized Sense Of Touch Over Long Distances: Haptics For Industrial Applications [WWW Document]. ScienceDaily. URL https://www.sciencedaily.com/releases/2007/06/070620085254.htm (accessed 2.24.19).

Beesley, P., and Seebohm, P., Thomas, 2000. Digital Tectonic Design.

Bernal, M., Haymaker, J.R., Eastman, C., 2015. On the role of computational support for designers in action. Design Studies 41, 163–182. https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.08.001

Berry, G., 2016. L'ordinateur est complètement con.

Berthoz, A., 2013. La vicariance. Le cerveau créateur de mondes. Odile Jacob sciences, Paris.

Bilda, Z., Gero, J., 2005. Does sketching off-load visuo-spatial working memory? Studying Designers'05 145–159.

Bilda, Z., Gero, J.S., Purcell, T., 2006. To sketch or not to sketch? That is the question. Design Studies 27, 587–613. https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.02.002

Billon, R., Grandjean, J., 2014. mastère spécialisé Bim conception intégrée et cycle de vie, in: BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Eyrolles et CSTB, Paris, pp. 341–350.

Bokyung, K., 2016. Virtual Reality as an Artistic Medium: A Study on Creative Projects Using Contemporary Head-Mounted Displays (Mémoire de Master). Aalto University, Helsinki.

Boudhraâ, S., Dorta, T., Milovanovic, J., Pierini, D., 2019. Co-ideation critique unfolded: an exploratory study of a co-design studio 'crit' based on the students' experience. https://doi.org/10.1080/15710882.2019.1572765

Boudon, Philippe, 2003a. Sur l'espace architectural. Essai d'épistémologie d'Architecture, 2nd ed. Parenthèses, Marseille.

Boudon, P., 2003. Sur l'espace architectural. Parenthèses, Paris.

Boudon, Philippe, 2003b. note de lecture du livre de Robert Venturi De l'ambiguité en architecture [WWW Document]. APC-MCX. URL http://www.intelligence-complexite.org/fr/cahier-des-lectures/recherche-dune-note-de-lecture.html?tx_mcxapc_pi1[action]=noteDetail&tx_mcxapc_pi1[idNote]=110. (accessed 7.21.18).

Boudon, P., 2002. Echelles(s). Anthropos, Paris.

Boudon, P., Deshayes, P., Pousin, F., Schatz, F., 1994. Enseigner la conception architecturale. Villette, Paris: La.

Boudon, P., Pousin, F., 1988. Figures de la conception architecturale: manuel de figuration graphique, Les Pratiques de l'espace. Bordas, Paris.

Bouleau, N., 2015. La modélisation critique. Editions Quæ, Versailles.

Bouleau, N., 2005. Modélisation et contre-expertise. Bulletin de l'APMEP 462–468.

Bouleau, N., 2001. Hasard, modelisation et pensee critique. Presented at the Conférence à l'Université des Sciences et Techniques de Lille, Villeneuve d'Ascq.

Bresson, J.-Y., 2014. Les gains de l'interopérabilité, in: BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Eyrolles et CSTB, Paris.

Buchanan, R., 1992. Wicked Problems in Design Thinking. https://doi.org/10.2307/1511637

Building Smart, 2016. URL http://www.buildingsmart-tech.org. (accessed 6.10.16).

Burdea, G., Coiffet, P., 2003. Virtual Reality Technology. https://doi.org/10.1162/105474603322955950

Buxton, B., 2011. Sketching User Experiences: The Workbook, Interactive Technologies. Morgan Kaufmann (Elsevier), Burlington, MA.

Buxton, B., 2007. Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design, Morgan Kaufmann (Elsevier). ed, Interactive Technologies. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.

Buxton, B., Grossman, T., Balakrishna, R., Kurtenbach, G., Fitzmaurice, G., Khan, A., 2002. Creating Principal 3D Curves with Digital Tape Drawing, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Presented at the CHI '02, ACM, Minneapolis, Mn., pp. 121–128.

Campbell, D.A., 2007. Building information modeling: the Web3D application for AEC, in: Web3D. https://doi.org/10.1145/1229390.1229422

Cardoso, C., Badke-Schaub, P., 2009. Idea Fixation in Design: The In uence of Pictures and Words, in: ICORD 09: Proceedings of the 2nd International Conference on Research into Design, Bangalore, India 07.-09.01. 2009.

Carpo, M., 2013. The Digital Turn in Architecture 1992 - 2012. John Wiley & Sons.

Casakin, H., Goldschmidt, G., 1999. Expertise and the use of visual analogy: implications for design education. Design Studies 20, 153–175. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00032-5

Céleste, P., 1984. Vocabulaire traditionnel des dessins d'architecture, in: Vocabulaire Traditionnel Des Dessins d'architecture. CCI-Centre Georges Pompidou, Paris, pp. 150–158.

Celnik, O., Lebègue, E., 2014. BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Eyrolles et CSTB, Paris.

Chambers, D., Reisberg, D., 1985. Can mental images be ambiguous? Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 11, 317–328. https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.3.317

Chamilothori, K., Wienold, J., Andersen, M., 2018. Adequacy of Immersive Virtual Reality for the Perception of Daylit Spaces: Comparison of Real and Virtual Environments. LEUKOS 0, 1–24. https://doi.org/10.1080/15502724.2017.1404918

Charef, R., Alaka, H., Emmitt, S., 2018. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. Journal of Building Engineering 19, 242–257. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028

Chen, L., Luo, H., 2014. A BIM-based construction quality management model and its applications. Automation in Construction 46, 64–73. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009

Chenafi, S., 2015. BIM, vers un changement de paradi(s)gme (Master II). ENSAPL-Université de Lille, Villeneune-d'Ascq.

Choay, F., 1998. La règle et le modèle, 2nd ed. Seuil, Paris.

Christiaans, H.H.C.M., 1992. Creativity in design: The role of domain knowledge in designing.

Chupin, J.-P., 2002. La mariée mise à nu. (à propos de l'enseignabilité des modèles de la conception), Cognition et création : explorations cognitives des processus de conception. Mardaga, Bruxelles.

Chupin, J.-P., 2000. L'analogie ou les écarts de genèse du projet d'architecture. Genesis, (Revue internationale de critique génétique), numéro spécial Architecture 67–90.

Citton, Y., 2014. L'économie de l'attention - Yves CITTON - Éditions La Découverte, Seuil. ed.

Colomina, B., 2014. Radical Pedagogies [WWW Document]. Architectural Education in a Time of Disciplinary Instability. URL https://radical-pedagogies.com/ (accessed 5.16.19).

Conan, M., 1990. Concevoir un projet d'architecture. L'Harmattan, Paris.

Cook, M.T., Agah, A., 2009. A survey of sketch-based 3-D modeling techniques, in: Interacting with Computers. Elsevier, NYC, pp. 201–211.

Coons, S.A., 1963. An outline for the Requirements for a Computer-Aided Design System. Presented at the Spring Joint Computer Conference, Spartan Books, Baltimore, MD.

Crilly, N., 2015. Fixation and creativity in concept development: the attitudes and practices of expert designers. https://www.repository.cam.ac.uk/handle/1810/246878

Crismond, D., 2001. Learning and using science ideas when doing investigate-and-redesign tasks: A study of naive, novice, and expert designers doing constrained and scaffolded design work. Journal of Research in Science Teaching 38, 791–820. https://doi.org/10.1002/tea.1032

Cross, N., 2002. Comprendre la pensée du concepteur, in: Cognition et Création : Explorations cognitives des processus de conception. Mardaga, Sprimont, Belgique, pp. 35–48.

Cross, N., 1982. Designerly ways of knowing. Design Studies, Special Issue Design Education 3, 221–227. https://doi.org/10.1016/0142-694X(82)90040-0

Cross, N., Clayburn, A., 1996. Winning by design: the methods of Gordon Murray, racing car designer. Design Studies 17, 91–107. https://doi.org/10.1016/0142-694X(95)00027-O

Cross, N., Cross-Clayburn, A., 1998. Expert Designers, in: Frankenberger, E., Birkhofer, H., Badke-Schaub, P. (Eds.), Designers. Springer London, pp. 71–84.

Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., DeFanti, T.A., Kenyon, R.V., Hart, J.C., 1992. The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. Commun. ACM 35, 64–72. https://doi.org/10.1145/129888.129892

Curry, T., 2014. A Theoretical Basis for Recommending the Use of Design Methodologies as Teaching Strategies in the Design Studio. https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.04.003

Dabbeeru, M.M., Mukerjee, A., 2008. Discovering Implicit Constraints in Design, in: Gero, J.S., Goel, A.K. (Eds.), Design Computing and Cognition '08. Springer Netherlands, pp. 201–220.

Darke, J., 1979. The primary generator and the design process. Issue 9 325–337.

Daston, L., Galison, P., 2012. Objectivité. Les Presses du réel, Paris.

De Araujo, B., Casiez, G., Jorge, J., 2012. Mockup Builder: Direct 3D Modeling On and Above the Surface in a continuous interaction space, in: Proceedings of Graphics Interface. Presented at the GI '12 Graphics Interface, Canadian Information Processing Society, Toronto, pp. 173–180.

De Bergh, C., 2013. Eugène Viollet-le-Duc: théorie et pratique ultime de la restauration, 1874-1879 (Mémoire de Master2). ENSA Versailles. Université de Versailles et Saint Quentin, Versailles.

Delcambre, B., 2014. Mission Numérique Bâtiment. Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité, Paris.

Demangel, O., 2015. Virtual reality architecture will be more powerful than cocaine. In https://www.dezeen.com/2015/04/27/virtual-reality-architecture-more-powerful-cocaine-oculus-rift-ty-hedfan-olivier-demangel-ivr-nation/ (accessed 4.08.19).

Deshayes, C., 2014. L'esquisse : (re)contextualisation du fragment par un observateur averti, in: Conception et Réutilisation. Europia productions, Paris, p. 164.

Deshayes, C., 2013. Aspects dialogiques de l'esquisse architecturale 2D ou3D. Echelles, Espaces, Temps 117–133.

Deshayes, P., 2009. Arguments pour une méta modélisation.

Destombes, L., 2018. Traductions constructives du projet d'architecture. Théoriser le détail à l'ère de la modélisation intégrative (B.I.M.) (doctorat en architecture). Université Mc Gill, Pavillon de la Faculté de l'aménagement Salle 1150 2940, chemin de la Côte-Sainte-Catherine Montréal (QC) Canada H3S 2H4.

Didelon, V., 2014. L'empire du BIM. Criticat n°13.

Didi Huberman, G., 2014. Essayer dire. Editions de Minuit, Paris.

Döllner, J., Hagedorn, B., 2007. Integrating Urban GIS, CAD and BIM Data By Service-Based Virtual 3D City Models. p. 157.

Donath, D., 2001. Augmented Reality Techniques for Design and Revitalisation in Existing Built Environments, in: Reinventing the Discourse - How Digital Tools Help Bridge and Transform Research, Education and Practice in Architecture [Proceedings of the Twenty First Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture / ISBN 1-880250-10-1] Buffalo (New York) 11-14 October 2001, Pp. 322-329. CUMINCAD.

Dorsey, J., 2007. The Mental Canvas: A Tool for Conceptual Architectural Design and Analysis. s.l., s.n.

Dorsey, J., McMillan, L., 1998. Computer graphics and architecture: state of the art and outlook for the future. ACM SIGGRAPH_Computer Graphics 32, 45–48.

Dorst, K., Cross, N., 2001. Creativity in the Design Process: Co-Evolution of Problem–Solution. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6

Dorta, T., 2008. Ideation and Design Flow through the Hybrid Ideation Space Ideation and Design Flow through the Hybrid Ideation Space.

Dorta, T., Hoffmann, M., Kinayoglu, G., 2016. Hyve-3D and the 3D Cursor: Architectural co-design with freedom in Virtual Reality. IJAC, International Journal of Architectural Computing 1.

Dorta, T., Kalay, Y., Lesage, A., Perez, E., 2011. Comparing Immersion in Remote and Local Collaborative Ideation through Sketches : A Case Study.

Doulis, M., 2007. 4DIVE-A 4D Interface for the Visualization of Construction Processes in a Virtual Environment.

Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., McNiff, S., 2013. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. Automation in Construction 36, 145–151. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.001

Eastman, C., 2001. New Directions in Design Cognition, in: Design Knowing and Learning: Cognition in Design Education. Elsevier, pp. 147–198. https://doi.org/10.1016/B978-008043868-9/50008-5

Estevez, D., 2015. Conception non formelle en Architecture: expérience d'apprentissage et pratiques de conception. L'Harmattan, Paris.

Estevez, D., 2013. Le concepteur émancipé, dissensus et conception en architecture, in: Echelles, espaces, temps. Europia productions, Paris, p. 149.

Estevez, D., 2001. Dessin d'architecture et infographie. L'évolution contemporaine des pratiques graphiques. CNRS Editions, Paris.

Evans, R., 1995. The Projective Cast: Architecture and Its Three Geometries, M.I.T Press. ed.

Evans, R., 1986. Translations from drawing to building. AA Files 3–18.

Falk, J., Redström, J., Björk, S., 1999. Amplifying Reality. https://doi.org/10.1007/3-540-48157-5_25

Fallman, D., 2003. Design-oriented Human—Computer Interaction. CHI letters 5.

Feist, G.J., 1991. Synthetic and analytic thought: Similarities and differences among art and science students. Creativity Research Journal 4, 145–155. https://doi.org/10.1080/10400419109534382

Fernandez, P., 2002. Approches méthodologiques et modes opératoires dans le processus de conception architecturale et urbaine, in: Cognition et Création : Explorations cognitives des processus de conception. Mardaga, Sprimont, Belgique, pp. 97–118.

Ferries, B., 2005. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les IFC...en trois pages [WWW Document]. URL http://www.laurenti.com/publis/IFC_en_3_pages.pdf (accessed 7.29.18).

Fetter, W., 1964. Computer Graphics Architecture and the computer, in: Proceedings of the First Boston Architectural Center Conference. Presented at the Boston Architectural Center Conference, Boston Architectural Center, Boston, Massachussetts.

Frampton, K., 1995. Studies in Tectonic Culture : The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture, Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts, Chicago, Illinois, et The MIT Press. ed, Graham Foundation for Advanced Studies in the Fine Arts. John Cava, Cambridge, Massachussetts.

Freitas, M., Ruschel, R., 2013. What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture?

Garber, R., 2014. BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling. John Wiley & Sons.

Garber, R., 2009. Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modelling on Contemporary Design Practice. Architectural Design 79, 226–239. https://doi.org/10.1002/ad.842

Gibson, J.J., 1979. The Ecological Approach to Visual Perception, Lawrence Erlblaum Associates. ed. Hillsdale, N.J.

Girard, C., 2014. L'architecture, une dissimulation. La fin de l'architecture fictionnelle à l'ère de la simulation intégrale, in: Modéliser et simuler, Sciences & Philosophie. Editions Matériologiques, Paris, pp. 246–292.

Goël, V., 1995. Sketches of thought. MIT Press, Cambridge, Mass.

Goël, V., 1992. Ill-Structured Representations & quotes for Ill-Structured Problems, in: Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Psychology Press, Hillsdale, NJ, p. 1185.

Goldschmidt, G., 2004. Design Representation: Private Process, Public Image, in: Design Representation. Springer London, London, pp. 203–217. https://doi.org/10.1007/978-1-85233-863-3_9

Goldschmidt, G., 2003. The Backtalk of Self-Generated Sketches. Design Issues 19, 72–88.

Goldschmidt, G., 1994. Viskids. On visual design thinking the vis kids of architecture, in: Design Studies 15. Israël: Design Studies, Technion, Haifa, pp. 158–174.

Goldschmidt, G., 1991. The Dialects of Sketching. Creativity Research Journal 123–143.

Goldschmidt, G., Porter, W.L. (Eds.), 2004. Design Representation. Springer-Verlag, London.

Goldschmidt, G., Sever, A.L., 2011. Inspiring design ideas with texts. Design Studies 32, 139–155. https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.09.006

Gouezou, V., 2018. DialecBIM, une méthode d'évaluation du « dialectisme» des esquisses à l'ère du BIM, in: A La Pointe Du BIM Ingénierie et Architecture, Enseignement et Recherche. Presented at the EDUBIM2018, Eyrolles et MIND, Paris.

Gould, S.J., 1991. Quand les poules auront des dents. Seuil, Paris.

Graves, M., 2012. Architecture and the Lost Art of Drawing. NYT 1, 09.

Gregory, S.A., 1966. The Design Method, Softcover reprint of the original 1st ed. 1966 edition. ed. Springer.

Grossman, T., Chen, X., Tao, Y., Coros, S., Hudson, S.E., 2018a. Forte User-Driven Generative Design. Presented at the CHI2018, ACM, Montreal.

Grossman, T., Kazi, R.H., Fitzmaurice, G., Hashemi, A., Cheong, H., 2017a. DreamSketch: Early Stage 3D Design Explorations with Sketching and Generative Design. Presented at the UIST 2017, ACM, Quebec city.

Grossman, T., Singh, K., Fitzmaurice, G., Arora, R., Kazi, R.H., 2018b. SymbiosisSketch: Combining 2D & 3D Sketching for Designing Detailed 3D Objects in Situ. Presented at the CHI2018, ACM, Montreal.

Grossman, T., Singh, K., Fitzmaurice, G., Kazi, R.H., Anderson, F., Arora, R., 2017b. Experimental Evaluation of Sketching on Surfaces in VR. Presented at the CHI2017, ACM, Denver.

Grübel, J., Weibel, R., Jiang, M.H., Hölscher, C., Hackman, D., Schinazi, V., 2017. EVE: A Framework for Experiments in Virtual Environments. pp. 159–176. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68189-4_10

Gu, N., Kim, M.J., Maher, M.L., 2011. Technological advancements in synchronous collaboration: The effect of 3D virtual worlds and tangible user interfaces on architectural design. Automation in Construction, Augmented and Virtual Reality in Architecture, Engineering and Construction (CONVR2009) 20, 270–278. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.10.004

Gu, N., London, K., 2010. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. Automation in Construction, The role of VR and BIM to manage the construction and design processes 19, 988–999. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.002

Hagedorn, B., Döllner, J., 2007. High-level Web Service for 3D Building Information Visualization and Analysis, in: Proceedings of the 15th Annual ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems, GIS '07. ACM, New York, NY, USA, pp. 8:1–8:8. https://doi.org/10.1145/1341012.1341023

Hanegraaf, J., 2017. virtual reality offers mecanoo a new way of designing buildings.

Hardy, C., 2007. Les mots et la musique. Belin, Paris.

Heath, N., 2014. Why AI could destroy more jobs than it creates [WWW Document]. Techrepublic. URL http://www.techrepublic.com/article/ai-is-destroying-more-jobs-than-it-creates-what-it-means-and-how-we-can-stop-it/ (accessed 6.30.17).

Hendrickson, C., R. Rehak, D., 1993. The Potential of a "Virtual" Construction Site for Automation Planning and Analysis. https://doi.org/10.22260/ISARC1993/0066

Herbert, Daniel.M., 1993. Architectural Study Drawings. Van Nostrand Reinhold, New York.

Hii Jun Chung, D., Zhou Zhiying, S., Karlekar, J., Schneider, M. and L., 2009. Outdoor mobile augmented reality for past and future on-site architectural visualizations, in: T. Tidafi and T. Dorta (Eds) Joining Languages, Cultures and Visions: CAADFutures 2009, PUM, 2009, Pp. 557- 571. CUMINCAD.

Holness, G.V.R., 2008. BIM building information modeling: Gaining momentum. ASHRAE Journal 48.

Holness, G.V.R., 2006. Future Direction of the Design and Construction Industry: Building Information Modeling. ASHRAE Journal 38–46.

Holton, G., 2004. L'intuition dans la recherche scientifique. LNA journal de la physique, Issue 38, 27–33.

Holzer, D., 2015. BIM and Parametric Design in Academia and Practice: The Changing Context of Knowledge Acquisition and Application in the Digital Age. https://doi.org/10.1260/1478-0771.13.1.65

Holzer, D., 2007. Are you talking to me? Why BIM alone is not the answer, in: AASA. UTS ePRESS, Sydney.

Huot, S., 2005. Une nouvelle approche pour la conception créative: De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard. Université de Nantes, Nantes.

Hurtubise, D., 2016. la mutation BIM ! https://www.canal-u.tv/video/ensa_lyon/conference_daniel_hurtubise_la_mutation_bim.25689 . ENSA LYON. 2016.

IFC: where it all started. The end of Babel., 1994. . International Alliance for Interoperability, EUA.

Igarashi, T., Matsuoka, S., Hidehiko, T., 1999. Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design. Presented at the SIGGRAPH 99, ACM, Los Angeles, Ca.

Jansson, D.G., Smith, S.M., 1991. Design fixation. Design Studies 12, 3–11. https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F

Johnson, T.E., 1963. Sketchpad III: A Computer Program for Drawing in Three Dimensions, in: Proceedings of the May 21-23, 1963, Spring Joint Computer Conference, AFIPS '63 (Spring). ACM, New York, NY, USA, pp. 347–353. https://doi.org/10.1145/1461551.1461592

Jonson, B., 2005. Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. Design Studies 26, 613–624. https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.03.001

Jorge, J., Grisoni, L., Michelin, N., Leclercq, P., 2014. C-SHADE. INRIA, Paris. Non publié.

Jorge, J., Mateus, D., Sousa, M., De Klerk, R., Gama, S., Pinto Duarte, J., 2015. From Τέκτων to Τέχνη: going back to the classical roots of Architecture using virtual reality. TU Wien, Vienne.

Jullien, F., 1996. Traité de l'efficacité. Le livre de poche éd. Biblio essais, Paris.

Kaftan, M., Krakhofer, S., 2015. Augmented Reality Design Decision Support Engine for the Early Building Design Stage, in: Emerging Experiences in the Past, Present, and Future of Digital Architecture. Presented at the The 20th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, Kyungbuk Print Co., Ltd., pp. 231–240.

Kanade, T., Narayanan, P.J., Rander, P., 1995. Virtualized Reality: Concepts and Early Results. https://doi.org/10.1109/WVRS.1995.476854

Katz, I., 1994. Coping with the Complexity of Design: Avoiding Conflicts and Prioritizing Constraints.

Kaufmann, G., 1980. Imagery, Langage and cognition. Universitetsforlaget, Bergen.

Kavakli, M., Gero, J., 2001. Sketching as mental imagery processing. Design Studies 22, 347–364. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00002-3

Keefe, D.F., Jackson, B., 2016. Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR, in: Proceedings IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. Presented at the IEEE2016, IEEE, Budapest, pp. 1442–1451.

Keefe, D.F., Zeleznik, R.C., Laidlaw, D.H., 2007. Drawing on Air: Input Techniques for Controlled 3D Line Illustration, in: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 13, No. 5,ER GRAPHICS, VOL. 13, NO. 5,. Presented at the IEEE, IEEE.

Kieferle, J., Woessner, U., 2015. Bim interactive: about combining bim and virtual reality. A Bidirectional Interaction Method for BIM Models in Different Environments, in:

Proceedings of the 33rd ECAADe Conference -. Presented at the eCAADe33, Martens, B, Wurzer, G, Grasl T, Lorenz, WE and Schaffranek, R, Wien, pp. 69–75.

Kieferle, J., Woessner, U., 2001. Seven rules for a new approach of using immersive virtual reality in architecture, in: Education & Curricula-Virtual Meeting Places. Presented at the eCAADe19, eCAADe, Helsinki.

Kim, M. jeong, Maher, M., 2008. The impact of tangible user interfaces on spatial cognition during collaborative design. https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.006

Kiviniemi, A., Fischer, M., 2009. Potential obstacles to using BIM in architectural design., Collaborative Construction Information Management. Routledge, Oxford.

Kosslyn, S.M., 1994. Image and brain: The resolution of the imagery debate, Image and brain: The resolution of the imagery debate. The MIT Press, Cambridge, MA, US.

Lachaux, J.-P., 2015. Le cerveau funambule. Odile Jacob Sciences, Paris.

Larkin, J.H., Simon, H.A., 1987. Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. Cognitive Science 11, 65–100. https://doi.org/10.1111/j.1551-6708.1987.tb00863.x

Latour, B., 2012. Les mille aventures de la connaissance objective, in: Objectivité. Presses du réel, Fabula, Dijon, p. 151.

Laurel, B., Strickland, R.M., 1994. Placeholder: landscape and narrative in virtual environments, in: Proceedings of the Second ACM International Conference on Multimedia '94. Presented at the ACM International Conference on Multimedia '94, ACM Press, San Francisco, CA,.

Laviole, J., 2013. Interaction en réalité augmentée spatiale pour le dessin physique (thesis). Bordeaux 1.

Laviole, J., Hachet, M., 2012. PapARt : interactive 3D graphics and multi-touch augmented paper for artistic creation, in: 3D User Interfaces (3DUI), 2012 IEEE Symposium On. IEEE, Costa Mesa, CA, United States, pp. 3–6. https://doi.org/10.1109/3DUI.2012.6184167

Lawson, B., 2005. How designers think. The design process demystified, 4th ed. Routledge, Oxford.

Lawson, B., 2005c. Oracles, draughtsmen, and agents: the nature of knowledge and creativity in design and the role of IT. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.005

Lawson, B., 1997. Design in mind, Architectural Press. ed. Oxford.

Le Moigne, J.-L., 2002. Epistémologie de l'Interdisciplinarité. Presented at the Relier les connaissances, Interdisciplinarité, Transversalité, MCX-APC, Université de Nantes.

Le Moigne, J.-L., 2001. La complexité appelle des stratégies interdisciplinaires et donc le redéploiement des sciences de l'ingénieur. MCX 4.

Le Moigne, J.-L., 1987. Qu'est-ce qu'un Modèle?. Confrontations Psychiatriques Les modèles expérimentaux et la clinique.

Le Moigne, J.-L., 1984. La théorie du système général, 2 éd. ed. Dunod, Paris.

Leach, Neil., Turnbull, David., Williams, Chris., 2004. Digital tectonics. Wiley-Academy, Chichester.

Lebahar, J.-C., 1983. Le dessin d'architecte - simulation graphique et réduction d'incertitude, Architectures. Parenthèses, Marseille.

Leclercq, P., Elsen, C., 2010. SketSha, the Sketch Power to Support Collaborative Design.

Leclercq, P., Safin, S., Juchme, R., 2011. Du crayon au stylo numérique : influences des IHM à stylo et des interprétations numériques sur l'activité graphique en tâches de conception. Journal d'Interaction Personne-Système (JIPS) 2, 1–31.

Legay, J.-M., 1997. L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode. Editions Quæ, Versailles.

Lescop, L., 2017. Narrative grammar in 360, in: International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct Proceedings. Presented at the IEEE ISMAR16, IEEE, Nantes.

Levine, N., 2009. Modern architecture: representation & reality. Yale University Press, New Haven [Conn.].

Luchins, A.S., 1942. Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. Psychological Monographs 54, i–95. https://doi.org/10.1037/h0093502

Maher, M.L., Poon, J., Boulanger, S., 1996. Formalising Design Exploration as Co-Evolution, in: Gero, J.S., Sudweeks, F. (Eds.), Advances in Formal Design Methods for CAD: Proceedings of the IFIP WG5.2 Workshop on Formal Design Methods for Computer-Aided Design, June 1995, IFIP — The International Federation for Information Processing. Springer US, Boston, MA, pp. 3–30. https://doi.org/10.1007/978-0-387-34925-1_1

Marin, P., Cuba Segura, J., 2014. Outils, méthodes et acteurs : analyse des limites à l'utilisation de la maquette numérique, in: Interaction(s) des maquettes numériques. Presented at the SCAN14, Le Comptoir des presses d'universités, Luxembourg.

McCormick, R., 1997. Conceptual and Procedural Knowledge. International Journal of Technology and Design Education 7, 141–59.

Meier, O., Schier, G., 2012. Management du changement : Changement culturel et organisationnel. Dunod, Paris. Collège de France.

Milgram, P., Colquhoun, H.J., 1999. A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration.

Miller, G.A., 1956. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. Psychol Rev 63, 81–97.

Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D., Miguet, F., 2017. Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education, in: 17th International Conference, CAAD Futures 2017. Gülen Çağdaş, Mine Özkar, Leman F. Gül and Ethem Gürer, Istanbul, Turkey.

Mitchell, W., 1998. Antitectonics: The poetics of Virtuality, in: The Virtual Dimension: Architecture, Representation, and Crash Culture. Princeton Architectural Press, New York, pp. 205–207.

Moleta, T., Vaai, J., Moloney, J., 2014. Integrating Project Management and Mobile Augmented Reality.

Moloney, J., 2007. Screen based augmented reality for architecture.

Morel, P., 2012. pédagogie/méthode [WWW Document]. article DNArchi. URL http://dnarchi.fr/pedagogie/quelques-remarques-sur-les-enjeux-pour-toute-ecole-darchitecture-de-la-nonrepresentation-a-lere-du-numerique/ (accessed 11.3.16).

Murray, J.H., 1998. Hamlet on the holodeck: The future of narrative in cyberspace. MIT Press, Caambridge.

Newell, A., Simon, H.A., 1972. Human Problem Solving. Englewood Cliffs : Prentice-hall.

Nicał, A.K., Wodyński, W., 2016. Enhancing Facility Management through BIM 6D. Procedia Engineering, Selected papers from Creative Construction Conference 2016 164, 299–306. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.623

O'Connor, A.C., Dettbarn, J.L., Gilday, L.T., 2004. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. Grant/Contract Reports (NISTGCR) - 04-867.

O'Keefe, J., Moser, M.-B., Moser, E., 2014a. The Brain's Navigational Place and Grid Cell System (Présentation au Comité Alfred Nobel de Physiologie). Comité Alfred Nobel de Physiologie, institut Karolinska, Stockholm.

O'Keefe, J., Moser, M.-B., Moser, E., 2014b. The Brain's Navigational Place and Grid Cell System (Présentation au Comité Alfred Nobel de Physiologie). Comité Alfred Nobel de Physiologie, institut Karolinska, Stockholm.

Pallasmaa, J., 2013. La main qui pense, Architecture. ed. Actes Sud, Arles.

Paradiso, J.. A., Landay, James.A., 2009. Guest Editors' Introduction: Cross-Reality Environments. IEEE Pervasive Computing 8, 14–15. https://doi.org/10.1109/MPRV.2009.47

Pareyson, L., 2006. Esthétique: Théorie de la formativité, Aesthetica. Edition rue d'Ulm, Paris.

Park, S., Choi, J., 2004. Retrieving and Browsing Information of Building Equipment Using Augmented Reality Techniques, in: CAADRIA 2004 [Proceedings of the 9th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia / ISBN 89-7141-648-3] Seoul Korea 28-30 April 2004, Pp. 911-926. CUMINCAD.

Penttilä, H., 2007. Early Architectural Design and BIM, in: Dong, A., Moere, A.V., Gero, J.S. (Eds.), Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2007. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 291–302. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6528-6_22

Perez Gomez, A., 2005. Questions of representation: the poetic origin of architecture. Architectural Research Quarterly 9, 217–225.

Perkins, D.N., 1981. The Mind's Best Work. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Perttula, M.K., 2006. Idea generation in engineering design : application of a memory search perspective and some experimental studies. Helsinki University of Technology.

Picabia, F., 1998. Jesus-Christ rastaquouère, Poche. ed. Allia, Paris.

Pierce, C.S., 1978. Ecrits sur le signe. Seuil, Paris.

Portman, M., Natapov, A., Fisher-Gewirtzman, D., 2015. To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001

Prost, 1991. La référence au temps : l'architecture et la question du temps PUF 1991, in: De l'architecture à l'épistémologie. La question de l'échelle - P Boudon. pp. 323–347.

Purcell, A.T., Gero, J.S., 1998. Drawings and the design process. Design Studies 19, 389–430. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00015-5

Quillien, J., 2007. Dans le sillage de Christopher Alexander, Saisir l'insaisissable. MCX.

Quine, W.V., 1978. Le mot et la chose, Flammarion. Paris.

Quinet, C., 1994. Simon et la rationalité. Revue française d'économie. Revue française d'économie 9, 131–181.

Rahimian, F.P., Ibrahim, R., 2011. Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. Design Studies 32, 255–291. https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.10.003

Raskar, R., Welch, G., Fuchs, H., 1998. Spatially Augmented Reality, in: IWAR98. Presented at the First International Workshop on Augmented Reality, San Francisco.

Ravenscroft, T., 2016. Video: Google launches VR paint brush [WWW Document]. http://www.bimplus.co.uk/technology/video-goog5le-launch4es-vr-paint-br9ush/. URL (accessed 10.29.17).

Raynaud, D., 1999. Le schème: opérateur de la conception architecturale.

Reed, S.K., Johnsen, J.A., 1975. Detection of parts in patterns and images. Memory & Cognition 3, 569–575. https://doi.org/10.3758/BF03197532

Reisberg, D., Logie, R., 1993. Chapter 2 The Ins and Outs of Working Memory: Overcoming the Limits on Learning from Imagery, in: Roskos-Ewoldsen, B., Intons-Peterson, M.J., Anderson, R.E. (Eds.), Advances in Psychology, Imagery, Creativity, and Discovery. North-Holland, pp. 39–76. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60138-7

Rieuf, V., Bouchard, C., Meyrueis, V., Omhover, J.-F., 2017. Emotional activity in early immersive design: Sketches and moodboards in virtual reality. Design Studies 48, 43–75. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.11.001

Rittel, H.W.J., Webber, M.M., 1973. Dilemmas in a general theory of planning. Policy Sci 4, 155–169. https://doi.org/10.1007/BF01405730

Robert, T., 2014. BIM : la montée en puissance. URL http://syndicat-architectes.fr/evenements/bim-la-montee-en-puissance/ (accessed 7.21.18).

Robertson, B., Radcliffe, D., 2006. The Role of Software Tools in Influencing Creative Problem Solving in Engineering Design and Education. Presented at the ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers, pp. 999–1007. https://doi.org/10.1115/DETC2006-99343

Robertson, B.F., Radcliffe, D.F., 2009. Impact of CAD Tools on Creative Problem Solving in Engineering Design. Comput. Aided Des. 41, 136–146. https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.06.007

Rose, G., 2001. Visual Methodologies: An Introduction to Researching with Visual Materials. SAGE.

Rusch, C.W., 1970. Understanding Awareness. Journal of Aesthetic Education 4, 57–79.

Sachs, E., Roberts, A., Stoops, D., 1991. 3-Draw: A Tool for Designing 3D Shapes., in: Proceedings of IEEE Computer Graphics and Applications. Presented at the IEEE Computer Graphics and Applications, EEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, pp. 18–26.

Safin, S., Dorta, T., Pierini, D., Kinayoglu, G., Lesage, A., 2016. Design Flow 2.0, assessing experience during Design Flow 2.0, assessing experience during: A proposed method. Design Studies 47, 23–46.

Sampaio, Z., 2018. Enhancing BIM Methodology with VR Technology. https://doi.org/10.5772/intechopen.74070

Sato, Y., Fukuda, T., Yabuki, N., Michikawa, T., Motamedi, A., 2016. A marker-less augmented reality system using image processing techniques for architecture and urban environment. Presented at the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, Melbourne, Australia, pp. 713–722.

Scheer, D.R., 2014. The death of drawing: Architecture in the age of simulation. https://doi.org/10.4324/9781315813950

Scheer, D.R., 2011. Architectural Drawing- A Prospective Requiem, in: Parametricism (SPC) ACADIA Regional 2011 Conference Proceedings. CUMINCAD.

Schkolne, S., 2002. Drawing with the Hand in Free Space: Creating 3D Shapes with Gesture in a Semi-Immersive Environment. Leonardo 32, 371–375.

Schnabel, M.A., 2001. The First Virtual Environment Design Studio, in: Architectural Information Management [19th ECAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9523687-8-1] Helsinki (Finland) 29-31 August 2001, Pp. 394-400. CUMINCAD.

Schnabel, M.A., Xiangyu, W., Hartmut, S., 2008. Touching The Untouchables: Virtual-, Augmented- And Reality, in: CAADRIA 2008 [Proceedings of the 13th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia] Chiang Mai (Thailand) 9-12 April 2008, Pp. 293-299. CUMINCAD.

Schnabel, M.A., Xiangyu, W., Seichter, H., Kvan, T., 2007. From Virtuality to Reality and Back.

Schneider, S., Kuliga, S., Weiser, R., Fuchkina, E., Kammler, O., 2018. VREVAL - A BIM-based Framework for User-centered Evaluation of Complex Buildings in Virtual Environments, in: Kepczynska-Walczak, A, Bialkowski, S (Eds.), Computing for a Better Tomorrow - Proceedings of the 36th ECAADe Conference - Volume 2, Lodz University of Technology, Lodz, Poland, 19-21 September 2018, Pp. 833-842. CUMINCAD.

Schön, D., 1991. Designing as reflexive conversation with the materials of a design situation, in: Keynote Talk. Presented at the Edinburgh conference on Artificial intelligence in Design, Schön, Edinbourg.

Schön, D.A., 1992. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. Knowledge-Based Systems, Artificial Intelligence in Design Conference 1991 Special Issue 5, 3–14. https://doi.org/10.1016/0950-7051(92)90020-G

Schön, D.A., 1983. The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action, Basic Books. Perseus Book Group. ed.

Schön, D.A., Wiggins, G., 1992. Kinds of seeing and their functions in designing. Design Studies 13, 135–156. https://doi.org/10.1016/0142-694X(92)90268-F

Schröder, P., Pruett, M., Schkolne, S., 2001. Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools, in: Proceeedings of the SIGCH'I01. Presented at the SIGCH'I01, ACM Press, Seattle.

Schubert, G., Artinger, E., Yanev, V., Petzold, F., Klinker, G., 2012. 3D Virtuality Sketching: Interactive 3D-sketching based on real models in a virtual scene.

Schulze, J.P., Hughes, C.E., Zhang, L., Edelstein, E., Macagno, E., 2013. CaveCAD: A Tool for Architectural Design in Immersive Virtual Environments, in: Proceeedings of the IEEE'13. Presented at the 3D User Interfaces (3DUI), 2013 IEEE Symposium, IEEE, Orlando, Fl.

Sheridan, T.B., 1992. Musings on Telepresence and Virtual Presence. Presence: Teleoperators & Virtual Environments 1, 120–126. https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120

Simon, H., 1992. De la rationalite substantive a la rationalite procedurale [WWW Document]. MCX-APC. URL http://archive.mcxapc.org/docs/lesintrouvables/simon5.htm (accessed 6.17.19).

Simon, H., 1969. The Sciences of the Artificial. MIT Press, Cambridge, Mass.

Simon, H., 1962. The architecture of complexity, in: Facets of Systems Science, International Federation for Systems Research International Series on Systems Science and Engineering. Springer US, Boston, MA, pp. 457–476.

Simon, H.A., 1991. Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel. Dunod, Paris.

Simonnet, C., 2001. L'Architecture Ou La Fiction Constructive. Passion, Paris.

Singh, K., Henrikson, R., Balakrishnan, Ravin, R., De Araujo, B., Chevalier, F., 2016. Storeoboard: Sketching Stereoscopic Storyboards. Presented at the CHI16, ACM CHI, Santa Clara, Ca., p. .4587-4598.

Singh, K., Xu, B., Chang, W., Sheffer, A., Bousseau, A., McCrae, J., 2014. True2Form: 3D Curve Networks from 2D Sketches via Selective Regularization, in: SIGGRAPH Conference Proceedings. Presented at the ACM Transactions on Graphics, ACM.

Slater, M., Wilbur, S., 1997. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments, in: Presence: Teleoperators and Virtual Environments. The MIT Press, Cambridge, Mass.

Smith, P., 2014. BIM & the 5D Project Cost Manager. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Selected papers from the 27th IPMA (International Project Management Association), World Congress, Dubrovnik, Croatia, 2013 119, 475–484. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053

Smith, R.T., THomas, B.H., Piekarski, W., 2008. Digital foam interaction techniques for 3D modeling, in: Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. Presented at the VRST '08, ACM, Bordeaux, pp. 61–68.

Someren, M.W. van, 1994. The think aloud method : a practical guide to modelling cognitive processes. Academic, London ;

Starner, T., Mann, S., J. Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., Picard, R., Pentland, A., 1997. Augmented Reality Through Wearable Computing. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.386

Stoakley, R., Conway, M.J., Pausch, R., 1995. Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '95. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, USA, pp. 265–272. https://doi.org/10.1145/223904.223938

Stolterman, E., 1999. The design of information systems: parti, formats and sketching. Information Systems Journal 9, 3–20. https://doi.org/10.1046/j.1365-2575.1999.00044.x

Stott, R.S., 2015. The Computer vs The Hand In Architectural Drawing: ArchDaily Readers Respond [WWW Document]. ArchDaily. URL http://www.archdaily.com/627654/the-computer-vs-the-hand-in-architectural-drawing-archdaily-readers-respond/ (accessed 2.23.19).

Sutherland, I., 1968. The sword of Damocles: a head-mounted three dimensional, in: Proceeedings of the AFIPS. Presented at the AFIPS Fall Joint Computer Conference, Thompson Books, Washington D.C., pp. 757–764.

Sutherland, I., 1963. Sketchpad. Presented at the proceedings-spring joint computer conference, 1963, ACM, Detroit Mi., pp. 507–523.

Suwa, M., Gero, J., Purcell, T., 2001. Unexpected Discoveries: How Designers Discover Hidden Features In Sketches, in: University of Sydney, Sydney. pp. 1–19.

Suwa, M., Purcell, T., Gero, J., 1998. Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. Design Studies 19, 455–483. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00016-7

Suwa, M., Tversky, B., 1997a. What architects see in their sketches: implications for design tools. Design Studies 385–403.

Suwa, M., Tversky, B., 1997b. What architects see in their sketches: implications for design tools. Design Studies 385–403.

Teller, A., 2015. Tout le monde devrait chercher à résoudre des problèmes réputés insolubles. Interviewé par Mickaël Szadkowski https://www.lemonde.fr/festival/article/2015/09/27/astro-teller-tout-le-monde-devrait-

chercher-a-resoudre-des-problemes-reputes-insolvables_4774157_4415198.html (accesed 6/1/2017)

Terry, M., Mynatt, E.D., 2002. Recognizing Creative Needs in User Interface Design, in: Proceedings of the 4th Conference on Creativity & Cognition, C&C '02. ACM, New York, NY, USA, pp. 38–44. https://doi.org/10.1145/581710.581718

Teulier, R., Naudet, B., Doukari, O., 2017. Merging IFC-based BIM models : A new paradigm and co-design support toolport. International Journal of 3-D Information Modeling (IJ3DIM) 6.

Tramper, J., Gielen, S., 2011. Visuomotor Coordination Is Different for Different Directions in Three-Dimensional Space. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0486-11.2011

Tulke, J., Hanff, J., 2007. 4D construction sequence planning – new process and data model, in: Proceedings of CIB-W78 24 Th International Conference on Information Technology in Construction. pp. 79–84.

Turner, P., Turner, S., 2006. Place, Sense of Place, and Presence, in: Presence: Teleoperators and Virtual Environments. The MIT Press Journal, Cambridge, Mass, pp. 204–217.

Tversky, B., 2002. What do Sketches say about Thinking?, in: Spring Symposium, Sketch Understanding Workshop, Stanford University, Technical Report. Presented at the AAAI Spring Symposium, AAAI, Stanford University.

Van Sommers, P., 1984. Drawing and Cognition: Descriptive and Experimental Studies of Graphic Production Processes. https://doi.org/10.1017/CBO9780511897672

Varenne, F., 2003. La simulation comme expérience concrète, in: Le Statut Épistémologique de La Simulation. Presented at the 10es journées de Roquebrune: rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels, ENST, pp. 299–313.

Venturi, R., 1999. De l'ambiguïté en architecture. Dunod, Paris.

Vercher, J.-L., Mestre, D., 2011. Immersion and presence, in: Virtual Reality: Concepts and Technologies. CRC Press, pp. 93–102. https://doi.org/10.1201/b11612

Verstijnen, I., van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., Hennessey, J., 1998. Sketching and creative discovery. Design Studies 19, 519–546. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00017-9

Vinck, D., 2009. De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. Vers la prise en compte du travail d'équipement. SAC Revue d'anthropologie des connaissances 3, 51–72.

Viollet-le-Duc, E.E., 1879. Histoire d'un dessinateur, Comment on apprend à dessiner, réimpression en fac-simile de l'édition de Paris. ed. Mardaga, Paris.

Visser, W., 2010. Schön: Design as a reflective practice. Collection 21–25.

Wiese, E., Israel, J., Meyer, A., Bongartz, S., 2010. Investigating the Learnability of Immersive Free-Hand Sketching. https://doi.org/10.2312/SBM/SBM10/135-142

Willis, K., Lin, J., Igarashi, T., Mitani, J., 2010. Spatial Sketch: Bridging Between Movement & Fabrication. ACM Press, Cambridge, MA.

Wilson, F.R., 1997. The hand. How its Use Shape the Brain, Langage, and Juman Culture. Pantheon books, New-York.

Witmer, B., Singer, M., 1998. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire., in: Presence: Teleoperators and Virtual Environments. The MIT Press Journal, Cambridge, Mass, pp. 225–240.

Wittgenstein, L., 2005. Recherches Philosophiques, Bibliothèque de Philosophie. Gallimard, Paris.

Wittgenstein, L., 1958. Philiophical Investigations. Basil Blackwell, Londres.

Woessner, U., Kieferle, J., 2016. BIM Collaboration in Virtual Environments - Supporting collaboration in co-located and distributed settings, in: Proceedings Virtual Reality. Presented at the eCAADe 34 Complexity & Simplicity, Oulu, Finlande, pp. 565–572.

Yan, W., Culp, C., Graf, R., 2011. Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. Automation in Construction 20, 446–458. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.013

Yongkwan, K., Sang-Gyun, A., Joon Hyub, L., Seok-Hyung, B., 2018. Agile 3D Sketching with Air Scaffolding, in: Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '18. ACM, New York, NY, USA, p. D411:1–D411:1. https://doi.org/10.1145/3170427.3186522

Zeleznik, R.C., Herndon, K.P., Hughes, J.F., 1996. SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, in: Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. ACM Press, NYC, pp. 163–170.

Zemana, A., Della Salac, S., Dewarb, M., 2015. Lives without imagery congenital aphantasia. Cortex 3.

Zielinski, D.J., McMahan, R.P., Shokur, S., Morya, E., Kopper, R., 2014. Enabling closed-source applications for virtual reality via OpenGL intercept-based techniques, in: Proceedings IEEE 7th Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems (SEARIS). Presented at the IEEE, IEEE, Minneapolis, Mn.

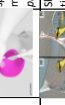
12. ANNEXES

12.1. Travaux précédents : *sketching* informatisé

catégorie	Numéro	Année	Titre	Auteurs	Organismes	Sources	Lien article	liens vidéo	lien disque	illustration	Commentaire
						SKETCHING 2D					
SKETCHING 2D	1	1960	Boeing Man	William Fetter	Boeing inc.	William Fetter, « Computer Graphics Architecture and the computer », in Proceedings of the First Boston Architectural Center Conference, présenté à Boston Architectural Center					William FETTER, à qui l'on crédite aussi le terme de *Computer Graphics* : William FETTER était concepteur de la firme BOEING, et travaillant sur l'optimisation de l'espace dans les cockpits d'avion
	2	1964	Sketchpad	Ivan Sutherland	Lincoln Laboratory. MIT.		http://papers.cumincad.org/data/works/att/5980.content.pdf				Préfiguration frappante des logiciels de DAO et de CAO, dont l'interface est basée sur un crayon optique permettant de dessiner à même l'écran.
	3	1994	Translucent patches	Axel Kramer	MD(German NationalResearchCenterforComputerScience) P.O. Box1316,53731. Sankt Augustin,. Germany	UIST 94 November 2-4, 1994	http://bonnet.cc/teaching/hci/fundamentals/papers/Kramer%20-%201994%20-%20Translucent%20Patches.pdf	https://vimeo.com/7001104	F:\vidéos		Patches ou "post-it" transparents dédiés à l'écriture mais intéressants au niveau sémantique. Basé sur l'utilisation de la transparence et une métaphore du calque. Evoque "knotty Gesture" de Teophanis.
	4	1994	The Electronic Cocktail Napkin	Mark D.Gross	Environmental Design University of Colorado Boulder Colorado. E.U.A.	Design Studies. January 1996	http://depts.washington.edu/dmgftp/publications/pdfs/en96-mdg.pdf				Interprétation de la symbolique des croquis. interprète les diagrammes pour accéder à différentes applications comme la recherche en base de cas.
	5	1996	SILK	James Landay	School of Computer Science. Computer Science Division Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA.		http://www.cs.cmu.edu/~landay/research/publications/Thesis.pdf	https://www.youtube.com/watch?v=yUQcWE6pU88	F:\vidéos_pro\Sciences\HMI		Prototypage rapide d'interface basés sur le dessin à main levée comme
	6	2000	What-if tools	Ben SHNEIDERMAN	University of Maryland	ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 7, No. 1, March 2000, Pages 114–138	https://www.cs.umd.edu/users/ben/papers/Shneiderman2000Creating.pdf				Non architectural. Visualisation d'informations.Prévisualisation et manipulation des solutions possibles hors dessin à la main. " "Genex", outil de mise en lien entre idées.
	7	2002	Side-Views	Terry et Mynatt, 2002; Terry et al., 2004							Non architectural. Propose une vue latérale pour versioning
	8	2002	Structural Sketcher	Slava Pranovich, Henri Achten, Bauke de Vries, Jack van Wijk	T.U Eindhoven	TUE	http://cumincad.architexturez.net/system/files/pdf/jiae2005_3105.pdf				Permet à l'architecte de développer son projet en 2D à partir « d'unités graphiques » du type grilles, contours, circulations etc. Besoin d'aide pour comprendre concept "graphic unit" et pour choisir le bon document sur "Structural sketcher"
	9	2004	On the computation of well-structured graphic representations in architectural design (lié à Structural Sketcher)	Henri Achten	Czech Technical University in Prague	Czech Technical University in Prague	http://www.researchgate.net/publication/254813688_On_the_computation_of_well-structured_graphic_representations_in_architectural_design				Besoin d'aide pour comprendre concept "graphic unit" et pour choisir le bon document sur "Structural sketcher"
	10	2006	Electronic Paper	Aliakseu, Martens & Rauterberg							Analogie avec la pratique traditionnelle du dessin traditionnel. Système multimodal alliant geste et dessin pour supporter les activités de conception.
	11	2006	A computer support tool for the early st	Dzmitry Aliakseyeu *, Jean-Bernard Martens, Matthias Rauterberg	User Centered Engineering Group, Faculty of Industrial Design, Eindhoven University of Technology, Den Dolech 2, P.O. Box 513, 5600MB Eindhoven, The Netherlands	Interacting with Computers 18 (2006) 528–555	http://alexandria.tue.nl/extra2/200311856.pdf				
	12	2006	SketchXML	Coyette	Belgian Lab. of Computer-Human Interaction (BCHI), Information Systems Unit (ISYS), Louvain School of Management, Université catholique de Louvain.		http://www.usixml.org/servlet/Repository/coyette-cupleics2006.pdf?ID=12698&saveFile=true	http://www.usixml.org/servlet/Repository/eaudheure-20100929.flv?ID=5098&saveFile=true	F:\vidéos		Interprétation croquis pour concevoir des interfaces informatiques. Intérêt de la composition d'action selon besoins de l'utilisateur.
	13	2007	Sketcha	Pierre Leclercq et al.	LUCID, Ulg		http://www.lucid.ulg.ac.be/www/research/current-projects/				Démonstrateur de studio collaboratif distant pour concepteurs d'architecture avec retour visuels et audio des agents
	14	2009	PenLight: Combining a Mobile Projector and a Digital Pen for Dynamic Visual Overlay	Hyunyoung Song1,2, Tovi Grossman1, George Fitzmaurice1, François Guimbretière2,3, Azam	1.Autodesk Research. 210 King St. East,Toronto, ON, M5A 1J7 Canada (firstname.lastname)@autodesk.com 2.University of Maryland. Department of	CHI 2009 ~ New Tabletop Input and Output Methods	http://www.autodeskresearch.com/publications/penlight	http://www.autodeskresearch.com/videos/2009CHIPenLight.flv	F:\vidéos		Pointeur illuminant la partie à augmenter. Compatible BIM (couches d'informations disponibles liées au dessin). Possibilité de mesurer-dimensionner.
	15	2010	Knotty Gestures: Subtle Traces to Support Interactive Use of Paper	Theophanis Tsandilas and Wendy E. Mackay	NRIA Saclay, Ile de France, INSITU and MSR INRIA Lab LRI, Building 490, Université Paris Sud, Orsay Cedex,	ACM Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI), pages 147-154	https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/589693/filename/knotty-gestures-hal.pdf	https://vimeo.com/8418158	F:\vidéos		Stylo augmenté qui permet, par des gestes de pointages codifiés, de faire des calculs, retenir des données, faire des enregistrements audios (concept du noeud au mouchoir). Plus pour écrire et compter que pour dessiner, semble-t-il...
	16	2010	MouseLight: Bimmanual Interactions on digital canvas Using a Pen and a Spatially-Aware Mobile Projector	Hyunyoung Song, 1,2,3 Francois Guimbretiere 2,3 Tovi Grossman,1, Georgee Fitzmaurice 1	1.Autodesk Research . 210 King St. East, Toronto, ON, M5A 1J7 Canada 2.University of Maryland Department of Computer Science Human-Computer Interaction Lab College Park, MD 20742 USA 3.Cornell Univ. Computing annd Information Science 3011 College Ave, Ithacaa NY 14850 USA	CHI 2010, April 10-15, 2010, Atlanta, Georgia, USA. ACM 978-1-60558-929-9/10/04	http://www.cs.cornell.edu/~francois/papers/pan1629_song3.pdf				Paper based interaction ou papier "augmenté" (comme Papart) liant un stylo et un mini projecteur assistant le concepteur. Si le résultat semble identique, un petit projecteur vaut-il mieux qu'un gros dispositif?
	17	2011	Conté: Multimodal Input Inspired by an	Daniel Vogel; Géry Casiez	Cheriton School of Computer Science University of Waterloo, CANADA dvogel.@uwaterloo.ca ; LIFL & INRIA Lille University of Lille, FRANCE gery.casiez.@lifl.fr	proceedings of INTERACT'11, the 13th IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction, 89-106. Springer.	http://dl.acm.org/author.cfm?id=592268	http://www.youtube.com/watch?v=HDqT_oKM7J8	F:\vidéos		Comme avec un vrai pastel, Comté présente un large spectre d'utilisation du baton permettant un large palette d'expression graphique. Plus utile en art qu'en architecture?
	18	2015	Drawing in the third dimension. Technology from small business Mental Canvas reimagines drawing in the digital age	Julie Dorsey	Yale University Mental Canvas, LLC Massachusetts Institute of Technology	NSF. http://mentalcanvas.com/	http://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=135955	http://www.nsf.gov/cgi-bin/goodbye?https://youtu.be/UQIoGC9K7rU	F:\vidéos		/AMental_Canvas_Julie_Dorsey_Yale_MIT_drawing_a_third_dimension.mkv

12.2. Travaux précédents : *sketching* spatialisé en RV

SKETCHING SPATIALISE EN RV

catégorie		Année	Titre	Auteurs	Organismes	Sources	Lien article	liens vidéo	lien disque	Illustration	Commentaire
SKETCHING SPATIALISE EN RV	19	2007	Drawing on Air: Input Techniques for Controlled 3D Line Illustration	Daniel F. Keefe, Robert C. Zeleznik, and David H. Laidlaw, Senior Member, IEEE	Daniel F. KEEFE, Student Member, IEEE, Robert C. Zeleznik, and David H. Laidlaw, Senior Member, IEEE	Daniel F. KEEFE, Robert C. ZELEZNIK et David H. LAIDLAW, « Drawing on Air: Input Techniques for Controlled 3D Line					A l'aide d'un système haptique, de dessiner des courbes « dans l'air » selon deux techniques distinctes : soit le dessin par ruban à deux mains (two-handed tape drawing), seul le dessin à une main avec point d'inflexion (one-handed drag drawing)
	20	2010	Spatial Sketch: Bridging Between Movement & Fabrication	Karl D.D. Willis1, 2; Juncong Lin 2; Jun Mitani2; Takeo Igarashi 2	1Carnegie Mellon University 5000 Forbes Avenue, Pittsburgh, PA, USA 2.JST, ERATO, Frontier Koishikawa Bldg, 2F 1-28-1, Koishikawa, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan	Karl WILLIS, Juncong LIN, Takeo IGARASHI et Jun MITANI, « Spatial Sketch: Bridging Between Movement & Fabrication »,	http://www.karlddwillis.com/wp/wp-content/uploads/2009/08/TEI 2010.pdf				Pontage entre le sketching spatialisé et la Fabrication Assistée par Ordinateur
	20b	2014	Hyve3d	Tomas Dorta1; Gokce Kinayoglu1; Michael Hoffmann2	1Hybridlab, Universite de Montreal	Tomas Dorta1; Gokce Kinayoglu1; Michael Hoffmann2. Hyve-3D: A New Embodied Interface for Immersive Collaborative	https://www.researchgate.net/publication/264559425_Hyve-3D_A_New_Embodied_Interface_for_Immersive_Collaborative_3D_Sketching	https://vimeo.com/23020252			Envisagé dès 2006, et préfiguré par un HIS (Hybrid Ideation Space) devenu Hyve-3D en 2014, ce dispositif dit *"plane-based 3d sketching "* propose une scène non-stéréographique dans laquelle on est immergé, et piloté via une tablette permettant de se déplacer, de placer un plan de dessin accueillant le croquis qui y sera exécuté.
	21	2014	Tilt Brush	Drew Skillman; Patrick Hackett,	2codemacher UG Germany			https://www.tiltbrush.com/	https://w		Produit commercial. Rachat par Google en 2015 puis développement. Google le porte au casque de RV HTC Vive en avril 2016. Produit leader, intuitif et plébiscité par les utilisateurs.
	22	2015	Drawing in the third dimension. Technology from small business Mental Canvas reimagines drawing in the digital age	Julie Dorsey	Yale University Mental Canvas, LLC Massachusetts Institute of Technology	NSF. http://mentalcanvas.com/	http://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=135955	http://www.nsf.gov/cgi-bin/goodbye?https://youtu.be/UOloJC9K7rU	F:\vidéos		Mental_Canvas_Julie_Dorsey_Yale_MIT_drawing a third dimension.mkv
	23	2016	Storeboard: Sketching Stereoscopic Storyboards	Rorik Henrikson1; Bruno De Araujo1; Fanny Chevalier1,2; Karan Singh1; Ravin	1Department of Computer Science, University of Toronto 2 INRIA	Karan SINGH, Rorik HENRIKSON, Ravin BALAKRISHNAN, Bruno DE ARAUJO et Fanny	https://hal.inria.fr/hal-01416137/document				Mise en profondeur de storyboards avec différents calques servant à déterminer les profondeurs de champs, donnant notamment une impression de mouvement avec les effets de parralaxe.
	24	2016	Quill	Inigo Quilez https://www.linkedin.com/in/inigo-quilez-8161a46/		https://twitter.com/iquilezles/status/806572940403486996		https://quill.fb.com			Produit commercial d'Oculus (Facebook) crée par Inigo Quilez avec l'aide de l'artiste Goro Fujita. Produit plébiscité par les artistes louant la versatilité de l'outil, relativement neutre (ou non contraignant) comme Tilt Brush. Notons néanmoins les limitations d'importation : seul le format .obj semble accepté, mais sans les matériaux.
	25	2017	Gravity Sketch	Oluwaseyi Sosanya; Daniela Paredes Funentes							Plus destiné aux concepteurs qu'aux artistes, Gravity Sketch permet le dessin de splines, de ruban ou de géométries contrôlé de différentes manières, donc modifiables. Particulièrement, la technique *ribbon-like dual-controller sculpting process* donne rapidement des effets de volumes. Diverses fonctionalités de
	26	2018	SymbiosiSketch: Combining 2D & 3D Sketching for Designing Detailed 3D Objects in Situ	Rahul Arora1; Rubaiat Habib Kazi2; Tovi Grossman2; George Fitzmaurice2;Karan	1University of Toronto Toronto, Canada 2Autodesk Research Toronto, Canada	Tovi GROSSMAN, Karan SINGH, George FITZMAURICE, Rahul ARORA et Rubaiat Habib KAZI, «	https://www.google.com/search?q=https://www.autodeskresearch.com/.../ch18_symbiosis_sketch.pdf&client=firefox-a	https://www.youtube.com/watch?v=Cannh_qZdtw			Sketching en Réalité Augmentée indifférement en 2D sur tablette ou en 3D en RA, tirant avantage des deux techniques de sketching

12.3. Travaux précédents : *sketching* pour la modélisation géométrique

catégorie	Numéro	Année	Titre	Auteurs	Organismes	Sources	Lien article	liens vidéo	lien disque	Illustration	Commentaire
SKETCHING POUR MODELISATION GEOMETRIQUE			SKETCHING POUR MODELISATION GEOMETRIQUE								
	27	1996	SKETCH	Robert C. Zeleznik; Kenneth P. Herndon; John F. Hughes	Brown Univ.	http://cs.brown.edu/~bcz/sketch/sig.html	http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.85.9387&rep=rep1&type=pdf	https://www.youtube.com/watch?v=kTXaD2Pp98A	F:\vidéos		modélisation 3d sur base sketching. Aspect dessin à la main. Modélisation 3d par interprétation des traits. Effets de matières. Mature pour la date.
	28	1999	Teddy	Takeo IGARASHI1, Satoshi MATSUOKA2 et Tanaka HIDEHIKO1	1University of Tokyo, 2Tokyo Institute of Technology	Takeo IGARASHI, Satoshi MATSUOKA et Tanaka HIDEHIKO, « Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design », in		https://www.cs.toronto.edu/~jacobson/seminar/igarashi-et-al-1999.pdf			Hors architecture. modélisation 3D sur base de dessins à la main en perspective. Dessin à la main dans un espace 3d.
	29	2002	Direct Modeling: from Sketches to 3D Models	Joaquim A Jorge1; Ziulián Conesa; Fernando Naya; Manuel Contero	1INESC-ID, DEI IST, Technical University of Lisbon, Portugal; 2Dep. Expr. Gráfica Ingeniería, UPV, Camino de Vera, 46020		Direct Modeling: from Sketches to 3D Models				Modélisation 3d sur base de croquis axonométrique (mesures en vraies grandeur)
	30	2004	SmartPaper	Sheth							modélisation 3d sur base sketching.Combine gestes de commandes et interprétation de dessins en projection orthogonale
	31	2005	Sketchboard	Jatupoj							modélisation 3d sur base sketching. Création de scènes 3D par commandes gestuelles au stylo
	32	2003	Svalabard	Huot, Dumas & Hégron							modélisation 3D sur base de dessins à la main en perspective
	33	2002	Digital Tape Drawing	Tovi Grossman1,2, Ravin Balakrishnan2,1, Gordon Kurtenbach1,2, George Fitzmaurice1,2, Azam Khan1, Bill Buxton1,2	1Alias|wavefront 210 King Street East Toronto, Ontario Canada M5A 1J7 2Department of Computer Science University of Toronto Toronto, Ontario	Bill BUXTON, Tovi GROSSMAN, Ravin BALAKRISHNA, Gordon KURTENBACH, George FITZMAURICE et Azam	https://www.billbuxton.com/CHI02TapeDrawing.pdf	https://www.youtube.com/watch?v=hXlw_y_XV0A			Emblématique de l'approche de dessin de ligne par "ruban" , technique dûe à l'industrie automobile, qui permet de dessiner une ligne avec un point de contrôle d'inflexion à chaque main et la possibilité de modifier la courbe. L'objectif correspond plus à la modélisation formelle qu'au dessin.
	34	2006	SmoothSketch	Karpenko							Hors architecture. modélisation 3D sur base de dessins à la main en perspective. Dessin à la main dans un espace 3d.
	35	2006	Sesame [Oh 2006]	1,Ji-Young Oh 2,Wolfgang Stuerzlinger 2,John Danahy	1,Univ. of Arizona Tuscon, AZ, USA 2,York University Toronto, Canada		http://ws.iat.sfu.ca/papers/sesameui.pdf	https://www.youtube.com/watch?v=D-zKoNZhZhSo	F:\vidéos		Interprétation croquis en plan. Combine une interprétation des croquis en plan avec des opérations de modélisation plus traditionnelles comme l'extrusion. Les tracés sont très librement executés, la modélisation résultante est aisée.
	36	2008	ILoveSketch: As-natural-as-possible sketc	Karan Singh, Seok-Hyung Bae, Ravin Balakrishnan	Department of Computer Science, University of Toronto DGP. shbae karan @dgp.toronto.edu	ACM Symposium on User Interface Software and Technology 2008 (Monterey, CA, USA, October 19-22, 2008)	http://www.dgp.toronto.edu/~shbae/pdfs/Bae_Beta_Sing_2008_ILoveSketch.pdf	https://vimeo.com/1669862	F:\vidéos		Hors architecture. Modélisation 3D sur base de dessins à la main en perspective. Dessin à la main dans un espace 3d. Possibilité de créer des courbes NURBS par petites touches, d'effacer les débords. Possibilité d'effacer, corriger.Tendance à dessiner des symétries.
	37	2008	NeMo	Pierre Leclercq; Jean-Noël Demaret	LUCID, Ulg			https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/122259/1/jn_demaret_caad_futures_2011_graphic.pdf			Interprétation automatique de croquis pour une modélisation générique destinée à des évluations performantielles
	38	2010	Sketch-Based Modeling of Vascular Systems: a First Step Towards Interactive Teaching of Anatomy	Adeline Pihuit,1, Marie-Paule Cani1 and Olivier Palombi1,2	1,Grenoble Universities & CNRS, Jean Kuntzmann Lab, INRIA Grenoble Rhône-Alpes, France 2,Laboratory of Anatomy of Grenoble Universities, France	EUROGRAPHICS Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling (2010), pp. 1-8 M. Alexa and E. Do (Editors)	https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00491988v2		F:\vidéos		Sketching augmenté dédié métier (prof_systèmes_vasculaires). Interprétation en 3d de sketch 2d. effet waouh mais ne fonctionne que sur des "tubulures"
	39	2011	CATIA V6	Industrial Design	CATIA Natural Sketch Showreel	Dassault Systems	http://www.3ds.com/products-services/catia/capabilities/design/	https://www.youtube.com/watch?v=aXYCaibNHCo	F:\vidéos		Approche commerciale orientée pour l'industrie de sketching en 3D pouvant, peut-être à la marge, générer une modélisation géométrique
	40	2013	3-Sweep: Extracting Editable Objects fro	Tao Chen 1 23, Zhe Zhu 1 Ariel Shamir3, Shi-Min Hu1, Daniel Cohen-Or 2,1,	1 TNList, Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University 2Tel Aviv University 3The Interdisciplinary Center	SIGGRAPH Asia paperID:0088	http://cg.cs.tsinghua.edu.cn/papers/SIGASIA-2013-3sweep.pdf		F:\vidéos		Hors architecture. Extraction de modèles 3d sur la base de photos. Fonctionne sur des formes géométriques circulaires "extrudées" symétriquement.Dans le principe, utile pour saisir rapidement en 3d le contexte d'un projet. Mais peu approprié à l'architecture
	41	2014	Modeling 3D animals from a side-view sketch	Even Entema,b; Loic Barthe a; Marie-Paule Cani b; Frederic Cordier c; Michiel van de Panne d	aIRIT - University of Toulouse bUniversity of Grenoble-Alpes, CNRS (Laboratoire Jean Kuntzmann) and Inria cUniversity of Haute Alsace dUniversity of British Columbia	Computer & Graphics 2014		https://www.irit.fr/recherche/SVOXITEX/publications/rendu-geometrie/SVM2014_Entem_et_al.pdf			Une recherche parente de la précédente, tirant une 3D d'un sketch en 2D impliquant Marie-Pierre Cani. Un principe semblable d'interprétation de recouvrance et dépasement de traits permet la déduction de la position d'une géométrie par rapport à une autre
	42	2014	True2Form: 3D Curve Networks from 2D	Karan Singh3 James McCrae3 Baoxuan Xu1, William Chang1, Alla Sheffer,1	1University of British Columbia 2Inria 3University of Toronto	SIGGRAPH	https://www.cs.ubc.ca/~brianxu/publications/true2form/files/True2Form_small.pdf	https://www.youtube.com/watch?v=tbUJHiVv4Bg			Suite logique d'ILoveSketch, True2form s'attache à l'exactraction de formes 3d sur la base de dessins à la main interprétés. Ceci requiert d'avoir établi une taxonomie des lignes très complète.

12.4. Travaux précédents : Modélisation géométrique en Réalité Virtuelle

catégorie	Année	Numéro	Titre	Auteurs	Organismes	Sources	MODELISATION EN RV Lien article	liens vidéo	lien disque	Illustration	Commentaire
MODELISATION EN RV	2012	43	Mockup Builder: Direct 3D Modeling On	De Araújo, B. R., Casiez, G. & Jorge, J. A.	INESC-ID, DEI IST, Technical University of Lisbon, Portugal CRISTAL, INRIA Lille, University of Lille, Villeneuve d'Ascq, France	In proceedings of GI'12, the 38th Graphics Interface conference, 173-180. Canadian Information	http://cristal.univ-lille.fr/~casiez/publications/MockupBuilder-GI2012.pdf	https://www.youtube.com/watch?v=ZuD9DYXD81E	F:\vidéos		Immersion devant grande table tactile permettant d'être plongé parmi les formes crées avec les doigts. Ceux-ci sont entravés. Sans stylet ou pointe, on perd en précision.
	2013	44	CAVECAD	Jurgen P. Schulze, Cathleen E. Hughes, Lelin Zhang, Eve Edelstein, Eduardo Macagno	University of California San Diego, Calit2, La Jolla, CA, USA						L'argument menant au démonstrateur consiste à promouvoir la modélisation géométrique directement en RV. Pour cela, des fonctionnalités basiques de modélisation 3D (création de géométrie, modification, assignement de matériaux) sont implémentées dans CAVECAD
	2015	45	BIM Interactive - About Combining BIM and Virtual Reality	Joachim Kieferle1; Uwe Woessner2	1Hochschule RheinMain 2HLRS	Joaquim KIEFERLE et Uwe WOESSNER, « Bim interactive: about combining bim and virtual reality, A Bidirectional Interaction Method for BIM Models in Different », in Proceedings of the 33rd	http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_329.content.pdf				Recherche affiché "BIM". Concept de *bidirectional link* permettant de travailler une même modélisation BIM indifféremment dans Revit© ou en immersion RV. De façon synchrone ou asynchrone (échanges de données grâce un « addin » en C# dans Revit© et un autre en C++ dans COVISE©). Cette recherche constitue un "graal"du point de vue du portage d'un outil RV dans le « workflow » BIM : l'immersion en RV dans la modélisation BIM est possible sans aucune altération du modèle géométrique ni informationnelle, des interactions sont possibles, notamment des modifications.
	2016	46	Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR	Bret Jackson; Daniel F Keefe	Macalester College de l'université du Minnesota	Daniel F. KEEFE et Bret JACKSON, « Lift-Off: Using Reference Imagery and Freehand Sketching to Create 3D Models in VR », in Proceedings IEEE	https://www.researchgate.net/publication/290472160_Lift-Off_Using_Reference_Imagery_and_Freehand_Sketching_to_Create_3D_Models_in_VR	https://www.youtube.com/watch?v=1GHw4JJneNA			Suite du projet *Drawing on air* de 2007, Keefe et Jackson proposent une interface de sketching mixant des techniques de dessin de courbes planes sur les murs tirées et gostionnées ensuite dans l'espace selon un objectif géométrique donné. Evoquant la technique du dessin par ruban, l'originalité de *Lift off* évoque le recours de l'architecture aux projections géométrales dont la précision complète ici en « remise en volume » convaincante. Il ne s'agit pas de dessin d'expression.
	2016	46	blender virtual reality viewport	William Culver			https://upbeatvr.com/blender-open-source-software-just-got-makeshift-vr-support/	https://github.com/dfelinto/virtual_reality_viewport			*Addon* pour porter le modeleur 3D opensource Blender en RV. Il s'agit plus de modélisationgéométrique que de sketching
	2017	47	VRSketch	Armin Rigo; Maciej Fijalkowski				https://vrsketch.eu/			Produit commercial d'une startup estonienne, *Baroque software*, visant l'utilisation du célèbre modeleur 3D *Sketchup* en réalité virtuelle. S'agisant de modélisation géométrique, la notion de *sketching* paraît absente. Une version pour Revit est en préparation.

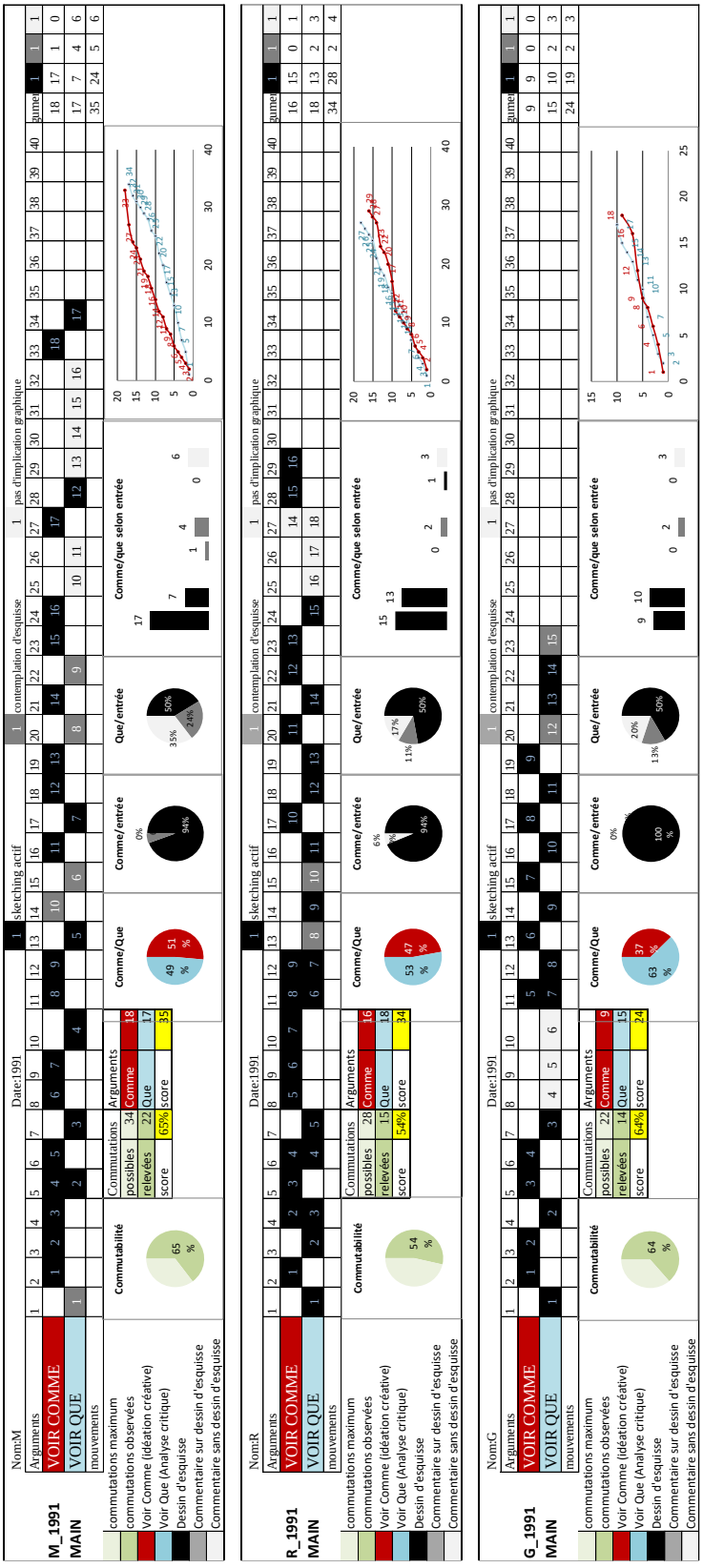
12.5. Travaux précédents : *sketching* pour le Design Génératif ou IA

SKETCHING GENERATIF ET IA									
catégorie	Numéro	Année	Titre	Auteurs	Organismes	Sources	Lien article	liens vidéo	lien disque	Illustration	Commentaire
SKETCHING GENERATIF ET IA	48	2015	Sketch-a-Net	Qian Yu, Yongxin Yang, Yi-Zhe Song, Tao Xiang, Timothy Hospedales	Electronic Engineering and Computer Science, Queen Mary University of London, UK		http://arxiv.org/pdf/1501.07873v2.pdf				Hors architecture. Surpasse la reconnaissance humaine de croquis grâce, entre autres, à la compréhension du processus de dessin, de la manière de dessiner et de l'ordre dans lesquels sont exécutés les traits (fusion Bayésienne). En l'état, ne fonctionne que sur des figures familières, et ne conviendrait pas au caractère abstrait et spécifiques des traits d'architecte.
	49	2017	DreamSketch: Early Stage 3D Design Exp	Rubaiat Habib kazi, Tovi Grossman, Hyunmin Cheong, Ali Hashemi, George Fitzmaurice	Autodesk Research, Toronto, ON, Canada	Tovi GROSSMAN, Rubaiat Habib KAZI, George FITZMAURICE, Ali HASHEMI, et Hyunmin CHEONG, « DreamSketch: Early Stage	https://www.autodeskresearch.com/publications/dreamsketch-early-stage-3d-design-explorations-sketching-and-generative-design	https://www.youtube.com/watch?v=pPeXjFJ2_u8			Outil de design génératif basé sur des croquis usant de fonction et méthode proxy (un « design pattern » tel « adapter » peut prendre différents objets en entrée en leur appliquant le même processus de transformation)
	50	2018	Forte: User-Driven Generative Design	1Tovi Grossman 2Runchang Kang 3Ye Tao	1 Autodesk Research 2Carnegie Mellon University 3Zhejiang University		https://www.researchgate.net/publication/324671677_Forte_User-Driven_Generative_Design	https://www.youtube.com/watch?v=k5m5NwJAodE			Démonstrateur de design génératif basé sur des croquis

12.6. Retranscription des passassions de 1991 par Goldschmidt

DialecBIM Notation des arguments "comme" et "que"

1.Talking aloud, Gabriela Goldschmidt.1991.



12.7. DialecBIM : Calendrier et ordre des passassions

calendrier et ordre passations	Particip	Noms	1	2	3	4
03/05/2019	P0	Teva Colonneau	CAO-BIM	DAO	VAirDraw	main
23/05/2018	P1	Pierre-Antoine SAHUC	main	DAO	VAirDraw	CAO-BIM
25/05/2018	P2	Thomas CHUFFART	main	VAirDraw	CAO-BIM	DAO
01/06/2018	P3	Benjamin QUINIOU	main	VAirDraw	DAO	CAO-BIM
04/06/2018	P4	Julien RAMET	DAO	VAirDraw	main	CAO-BIM
05/06/2018	P5	Anémone DEGAND	VAirDraw	CAO-BIM	DAO	main
08/06/2018	P6	Tristan O'BYRNE	CAO-BIM	main	VAirDraw	DAO
12/06/2018	P7	Kevin JACQUOT	DAO	VAirDraw	main	CAO-BIM

12.8. DialecBIM : Programme par candidat sur une demi-journée

programme par candidat	apprentissage	contexte	manipulations	questionnaire	pause	SOUS-TOTAL
main	0	10	40	5	5	60
DAO	0	10	40	5	5	60
CAO-BIM	0	10	40	5	5	60
VAirDraw	5	10	40	5	5	65
				TOTAL		245

soit 4h et cinq minutes

12.9. DialecBIM : Assignation de site par modalité d'esquisse

modalité	site Europan 14
main	Angers
DAO	Aurillac
CAO-BIM	Bègles0
VAirDraw	Grigny/Ris Orangis

12.10. DialecBIM : Programme complémentaire

Angers

PROGRAMME BIBLIOTHEQUE	m2
Hall accueil	100
Salle principale	600
Salle enfant	400
Bureau dir.	15
Bureau adj.	15
Bureau 1	20
Bureau 2	20
cuisine salle repos	60
Fonds	350
Fonds spéciaux	200
sanitaires 1	15
sanitaires 1	15
sanitaire staff	10
Local technique	15
	1835
TOTAL	2000

Aurillac

PROGRAMME GROUPE SCOLA	m2
Hall accueil	100
réfectoire	300
Classe1 maternelle	80
Classe2 maternelle	80
Classe3 maternelle	80
Classe4 primaire	80
Classe5 primaire	80
Classe6 primaire	80
dégagment	80
cuisine salle repos	40
Fonds documentaires	50
Stockage	30
sanitaires 1	10
sanitaires 2	10
sanitaires 3 adultes	5
Bureau dir.	10
Bureau adj.	10
Bureau 1	10
Cour maternelle	200
Cour primaire	150
Local technique	15
TOTAL	1500

Bègles

	PROGRAMME LOGEMENTS CO	m2
rdc	Hall accueil	50
rdc	Local Poubelle	30
rdc	Local technique	30
rdc	Logement gardien T3	60
rdc 1	T2 Handicapable	45
rdc 2	T2 Handicapable	45
rdc 3	T3 Handicapable	60
rdc 4	T3 Handicapable	60
rdc 5	T3 Handicapable	80
rdc 6	T4 Handicapable	80
rdc 7	T4 Handicapable	80
rdc	distribution/dégagements	60
rdc	Sous-total	680
r+1 1	T2	45
r+2 2	T2	45
r+1 3	T3	60
r+1 4	T3	60
r+1 5	T3	80
r+1 6	T3	80
r+1 7	T4	80
r+1 8	T4	80
r+1 9	T4	80
r+1	distribution/dégagements	50
r+1	Sous-total	660
r+2 1	T2	45
r+2 2	T2	45
r+2 3	T3	60
r+2 4	T3	60
r+2 5	T3	80
r+2 6	T3	80
r+2 7	T4	80
r+2 8	T4	80
r+2 9	T4	80
r+2	distribution/dégagements	50
	Sous-total	660
	TOTAL	2000

Besançon

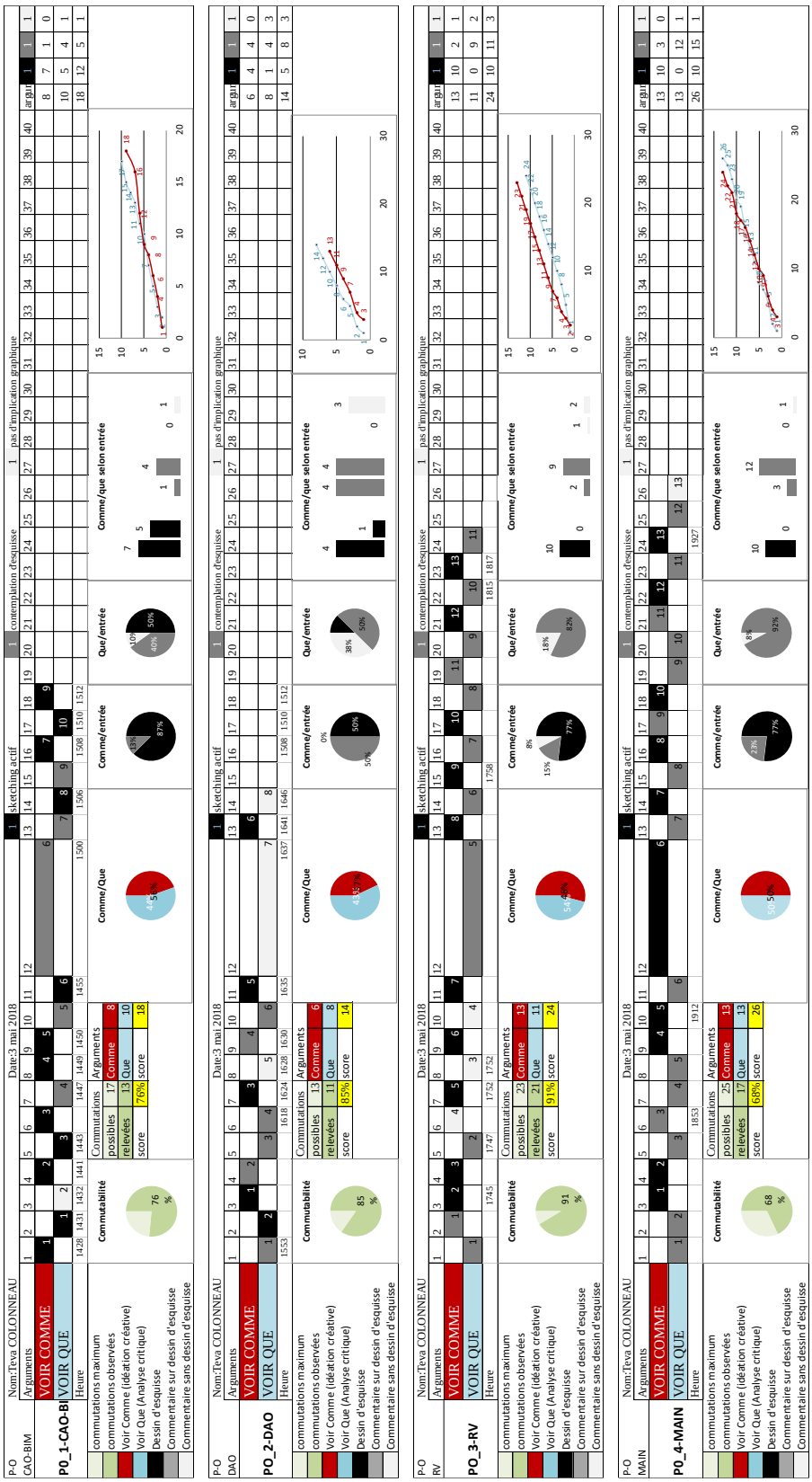
	PROGRAMME PISCINE PUBLQU	m2
	Hall accueil	200
	Vestiaires femmess/lockers	230
	Vestiaires hommes/lockers	230
	Douches femmes	50
	Douches femmes	50
	sanitaires femme	15
	sanitaires femme	15
	distribution/dégagements	100
	Bassin principal	400
	Petit bassin	250
	Pateaugeoire	150
	Baignoires boullonantes	40
	Sauna	20
	Salle traitement eau	80
	Salle traitement eau	30
	Local technique	40
	Bureau dir.	15
	Bureau adj.	15
	Bureau 1	10
	cuisine salle repos	60
	TOTAL	2000

Grigny/Ris Orangis

	PROGRAMME BUREAUX	m2
rdc	Hall accueil	200
rdc	espace attente/distrib.boisson	30
rdc	Réserves	30
rdc		60
rdc 1	B	45
rdc 2		45
rdc 3		60
rdc 4		60
rdc 5		80
rdc 6	Local Poubelle	30
rdc 7	Local technique	30
rdc	distribution/dégagements	60
rdc	Sous-total	730
r+1 1	T2	45
r+2 2	T2	45
r+1 3	T3	60
r+1 4	T3	60
r+1 5	T3	80
r+1 6	T3	80
r+1 7	T4	80
r+1 8	T4	80
r+1 9	T4	80
r+1	distribution/dégagements	50
r+1	Sous-total	660
r+2 1	T2	45
r+2 2	T2	45
r+2 3	T3	60
r+2 4	T3	60
r+2 5	T3	80
r+2 6	T3	80
r+2 7	T4	80
r+2 8	T4	80
r+2 9	T4	80
r+2	distribution/dégagements	50
	Sous-total	660
	TOTAL	2050

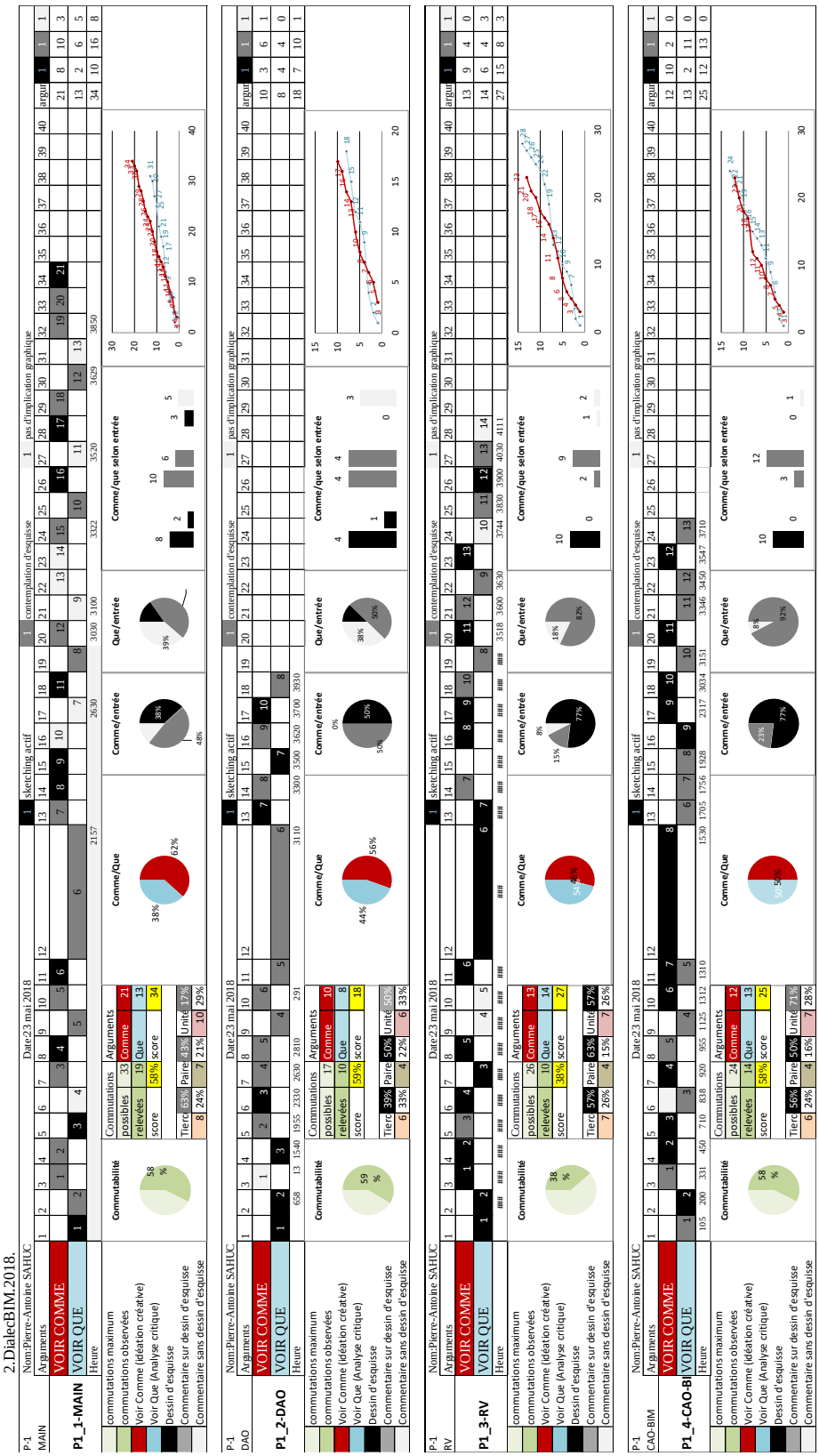
12.11. DialecBIM : Passassion test du Participant 0

2.DialecBIM.2018.



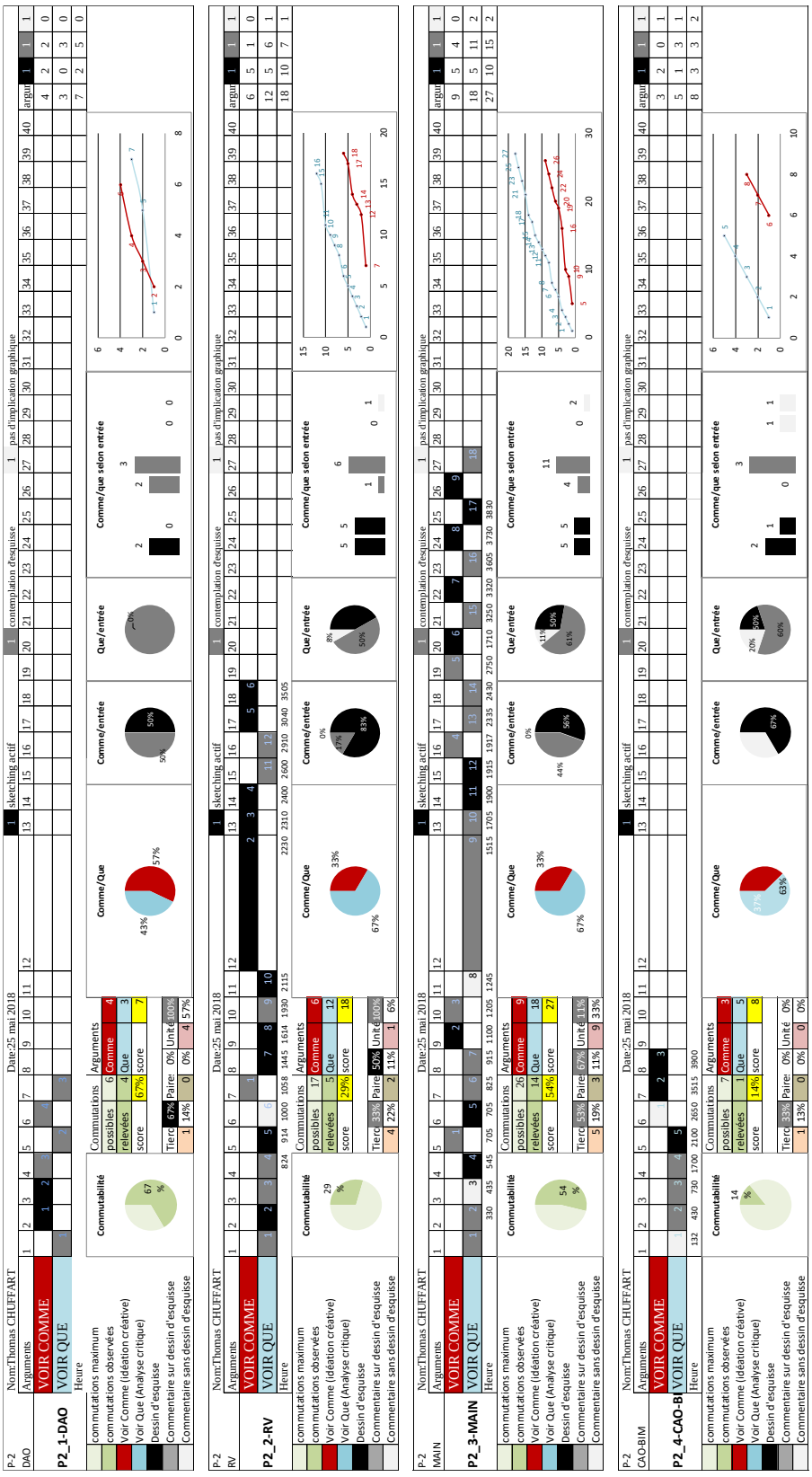
12.12. DialecBIM : Passassion du Participant 1

2.DialecBIM.2018.



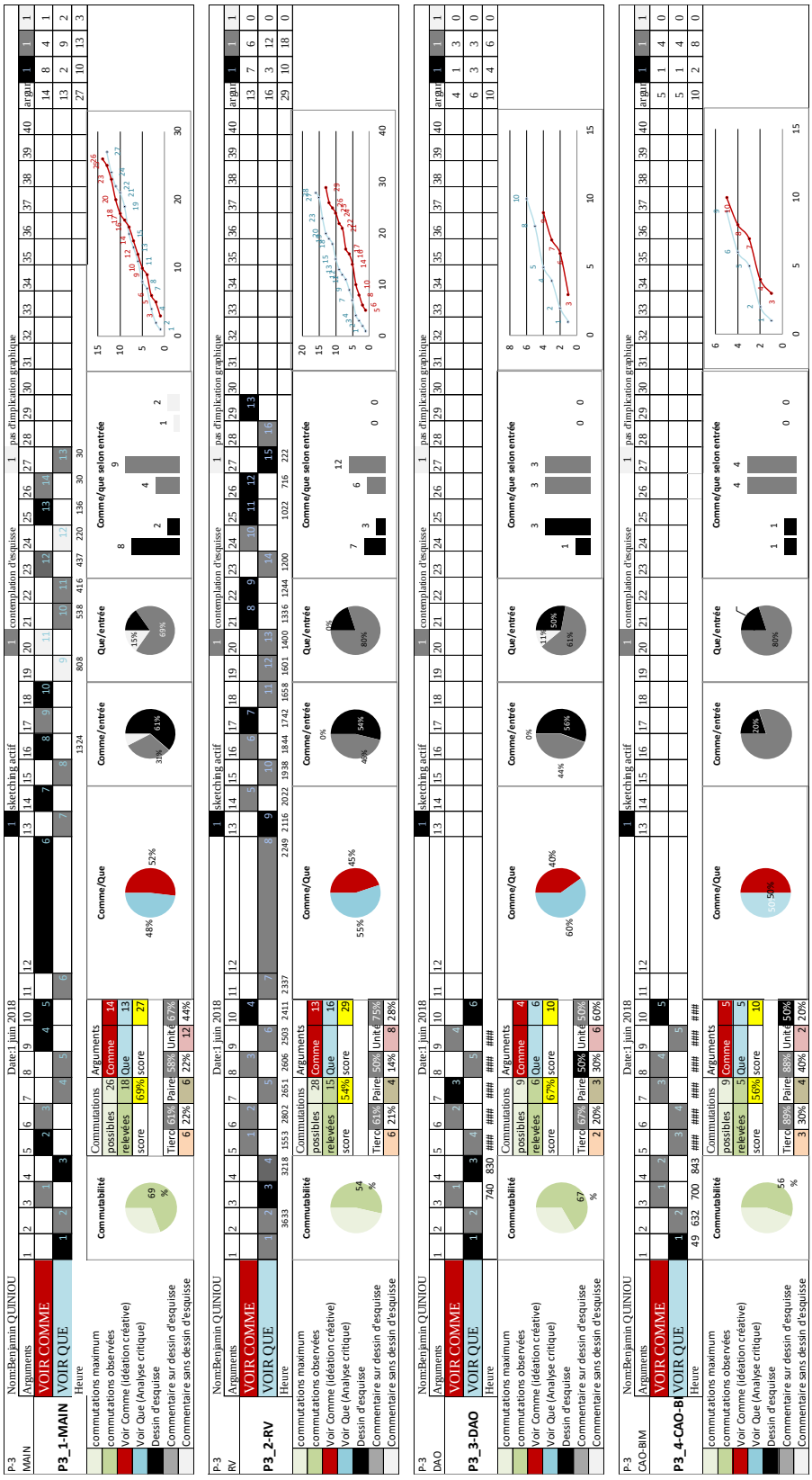
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	58%	34	8	7	10
P0_2-DAO	59%	18	6	4	6
P0_1-CAO-BIM	58%	25	6	4	7
P0_3-RV	38%	27	7	4	7

12.13. DialecBIM : Passassion du Participant 2



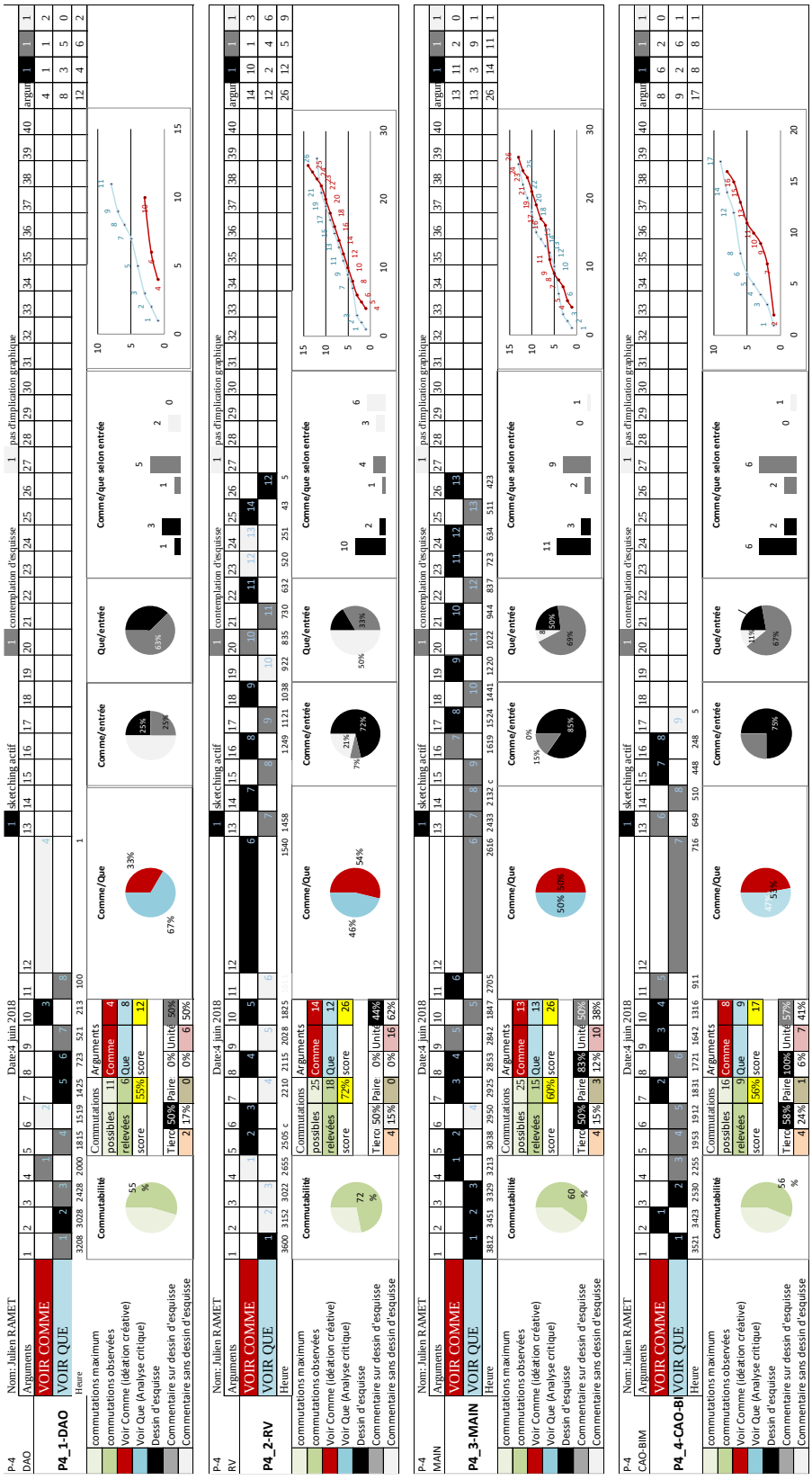
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	54%	27	5	3	9
P0_2-DAO	67%	7	1	0	4
P0_1-CAO-BIM	14%	8	1	0	0
P0_3-RV	29%	18	4	2	1

12.14. DialecBIM : Passassion du Participant 3



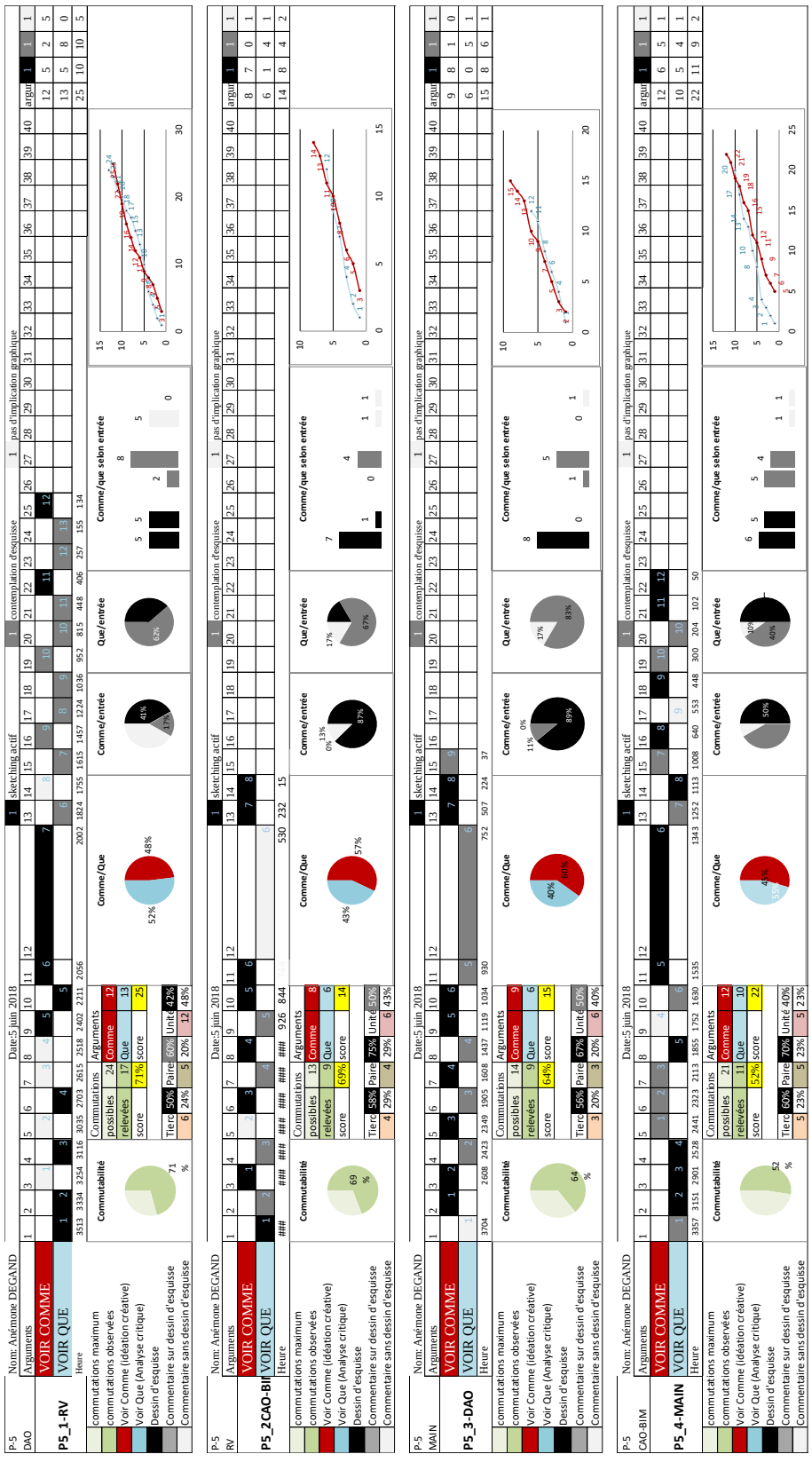
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
MAIN	67%	10	6	6	12
DAO	69%	27	2	2	6
CAO-BIM	56%	10	3	4	2
RV	54%	29	6	4	8

12.15. DialecBIM : Passassion du Participant 4



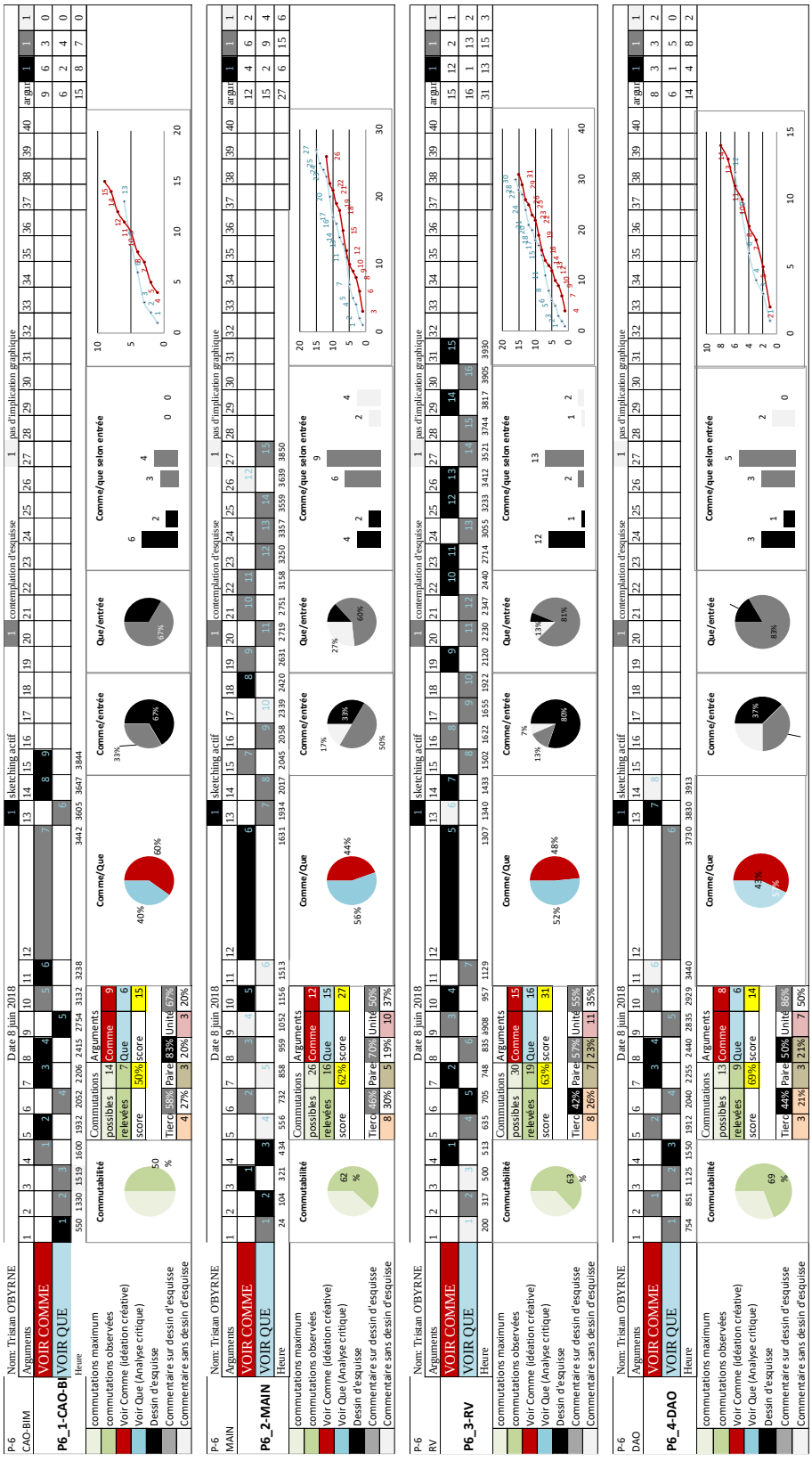
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	60%	26	4	3	10
P0_2-DAO	55%	12	2	0	2
P0_1-CAO-BIM	56%	17	4	1	7
P0_3-RV	72%	26	4	0	16

12.16. DialecBIM : Passassion du Participant 5



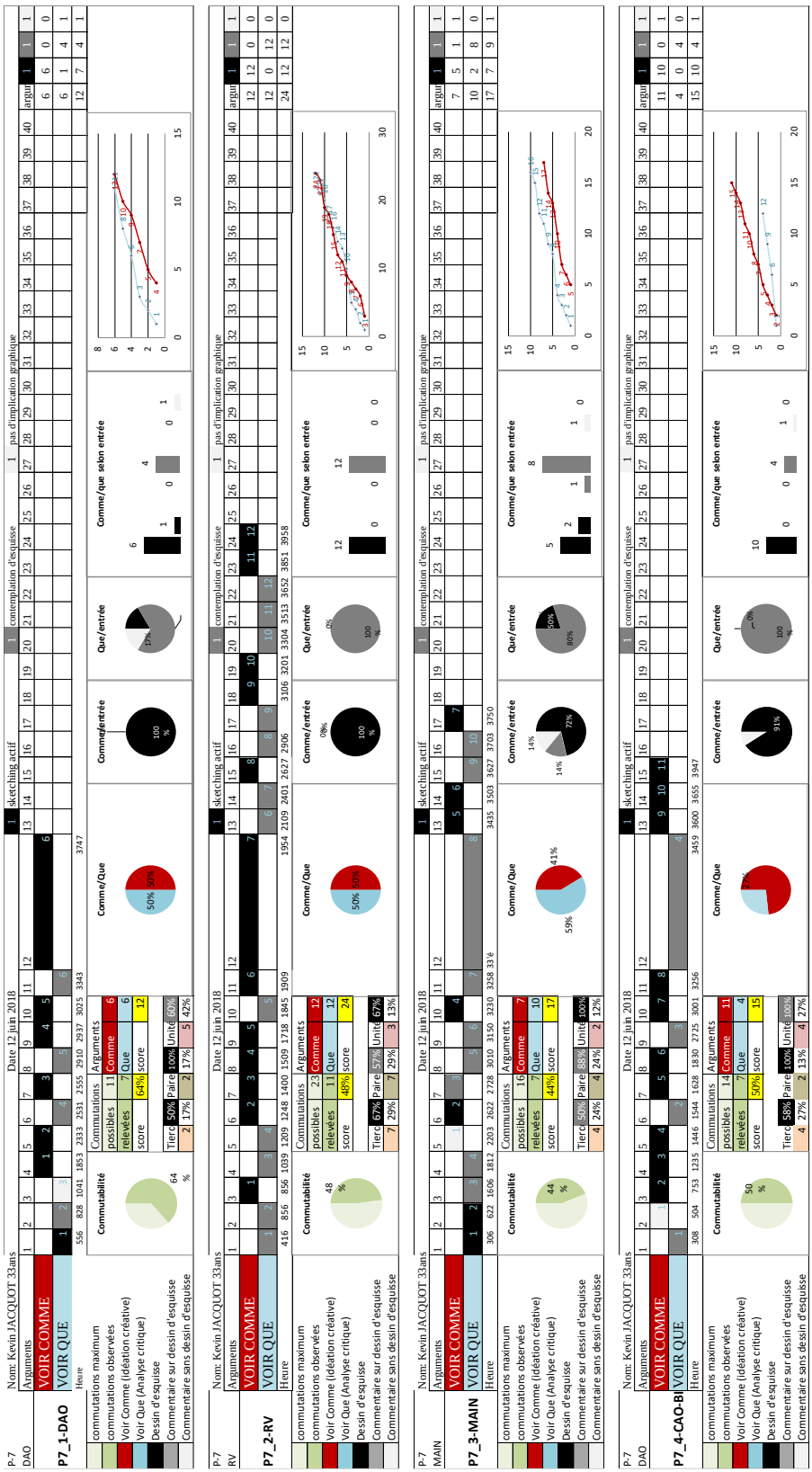
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	64%	22	5	5	5
PO_2-DAO	71%	15	3	3	6
P0_1-CAO-BIM	52%	14	4	4	6
PO_3-RV	69%	25	6	5	12

12.17. DialecBIM : Passassion du Participant 6



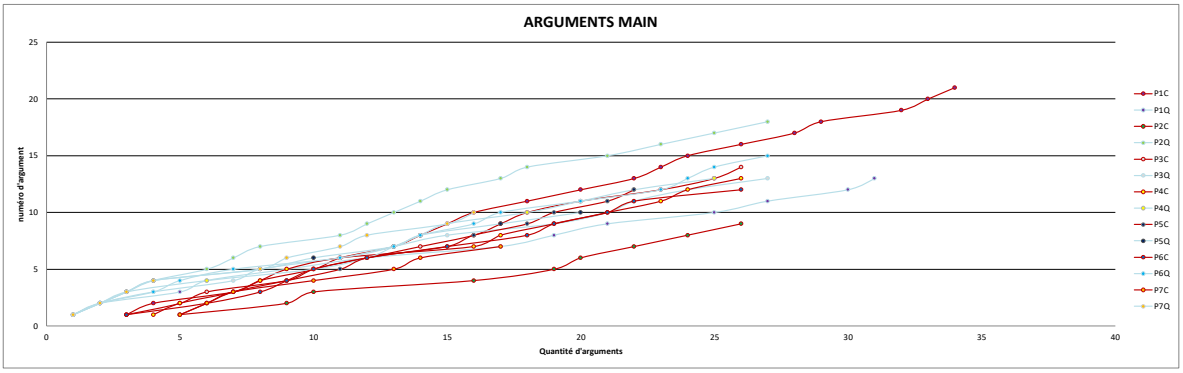
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	62%	27	8	5	10
P0_2-DAO	69%	14	3	3	7
P0_1-CAO-BIM	50%	15	4	3	3
P0_3-RV	63%	31	8	7	11

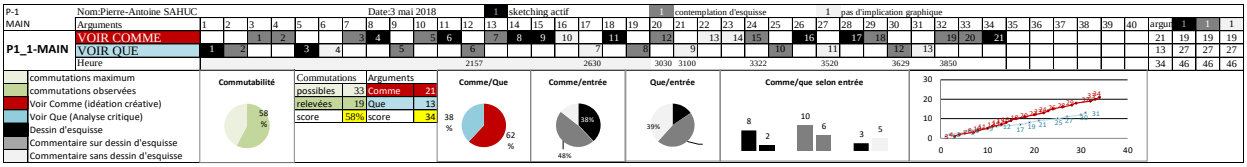
12.18. DialecBIM : Passassion du Participant 7

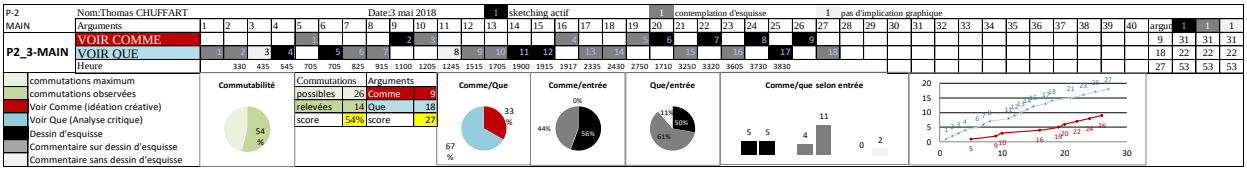


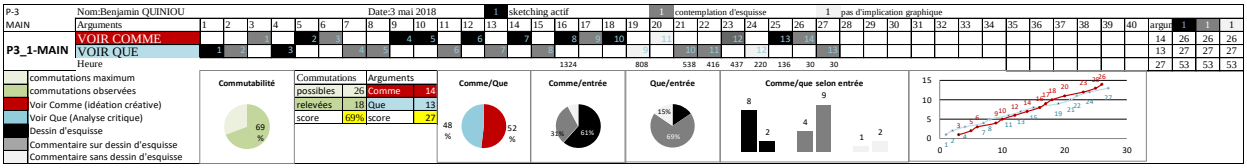
SCORES	Commutabilité	Arguments	Triplés d'arguments	Paires d'arguments	Unité d'arguments
P0_4-MAIN	44%	17	4	4	2
P0_2-DAO	64%	12	2	2	5
P0_1-CAO-BIM	50%	15	4	2	4
P0_3-RV	48%	24	7	7	3

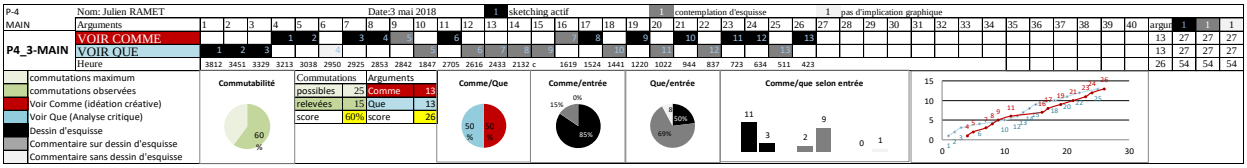
12.19. DialecBIM : Toutes les passassions à la Main

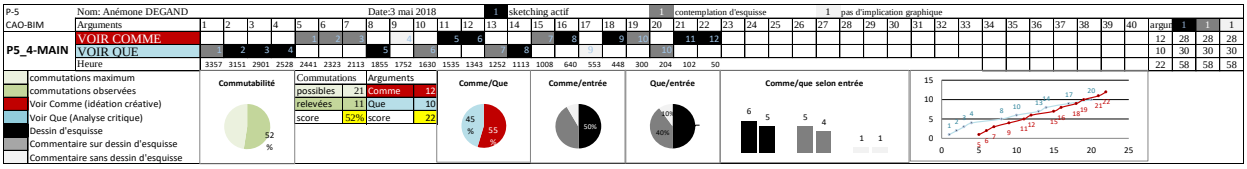


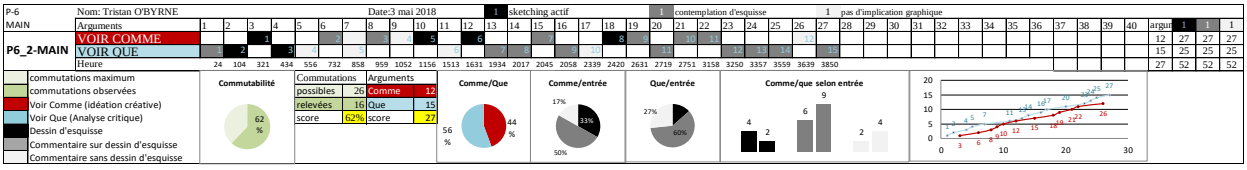


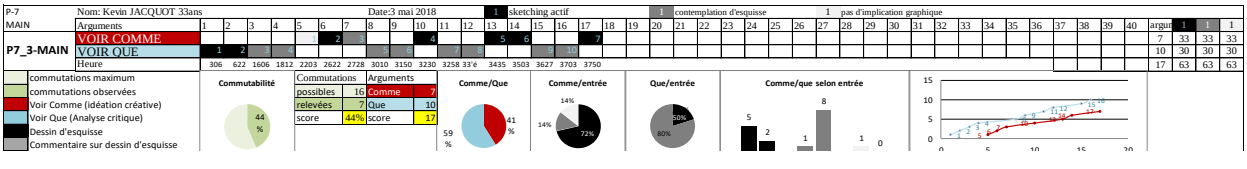




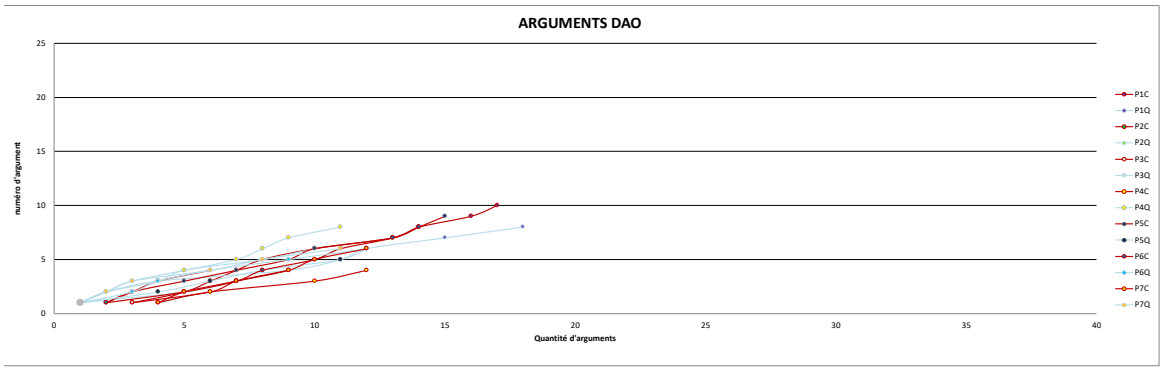


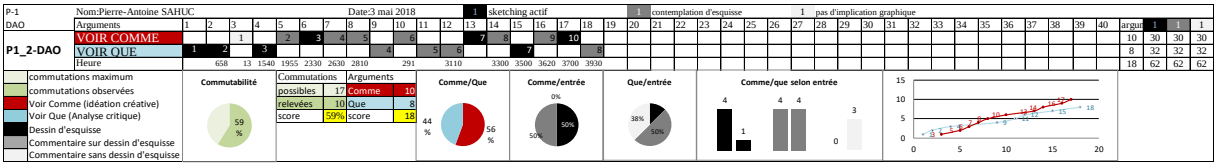


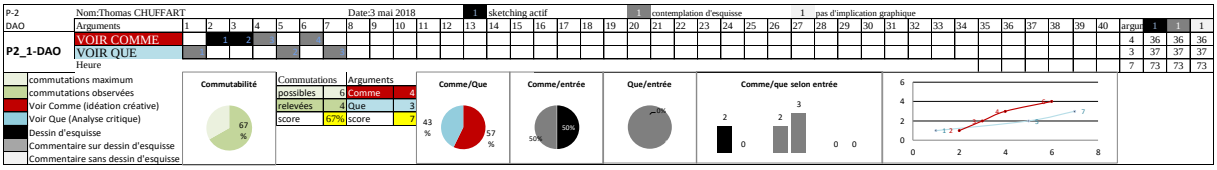


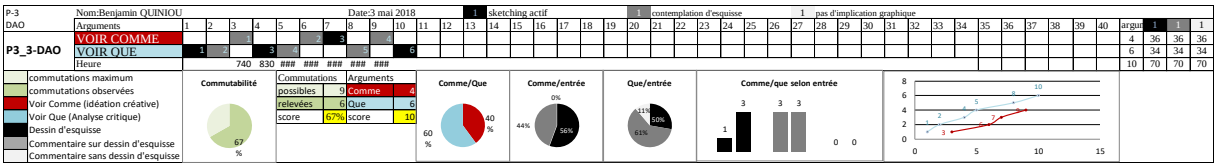


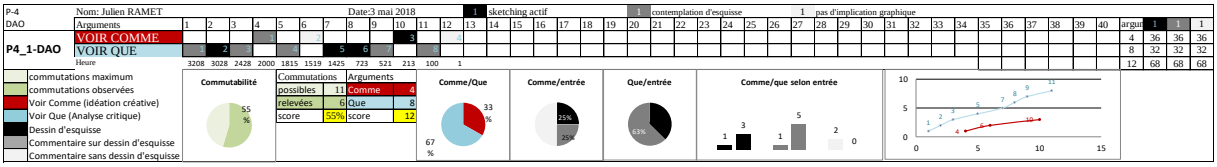
12.20. DialecBIM : Toutes les passassions en DAO

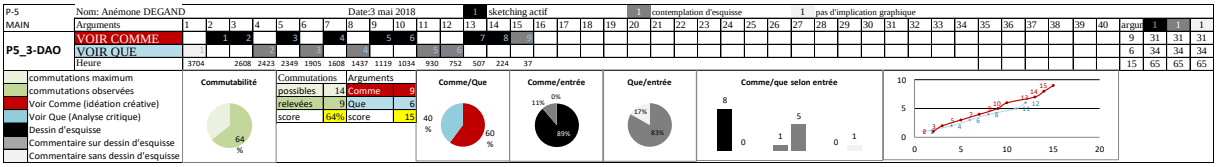


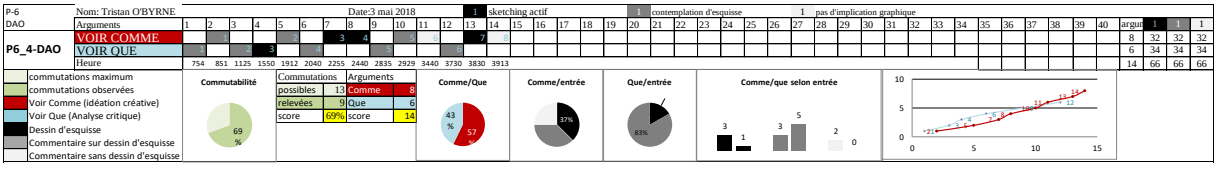


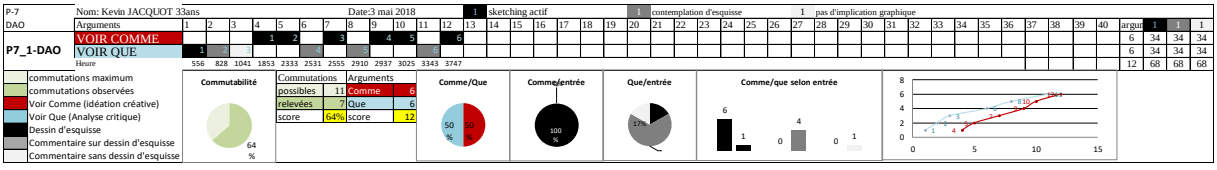




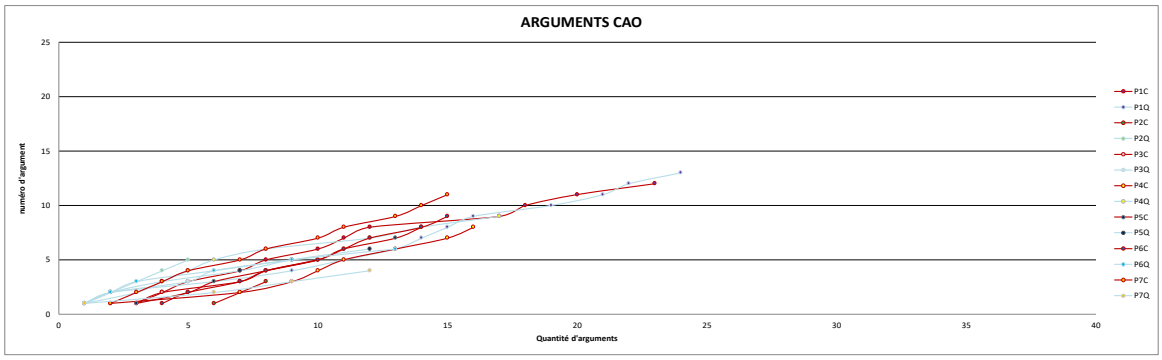


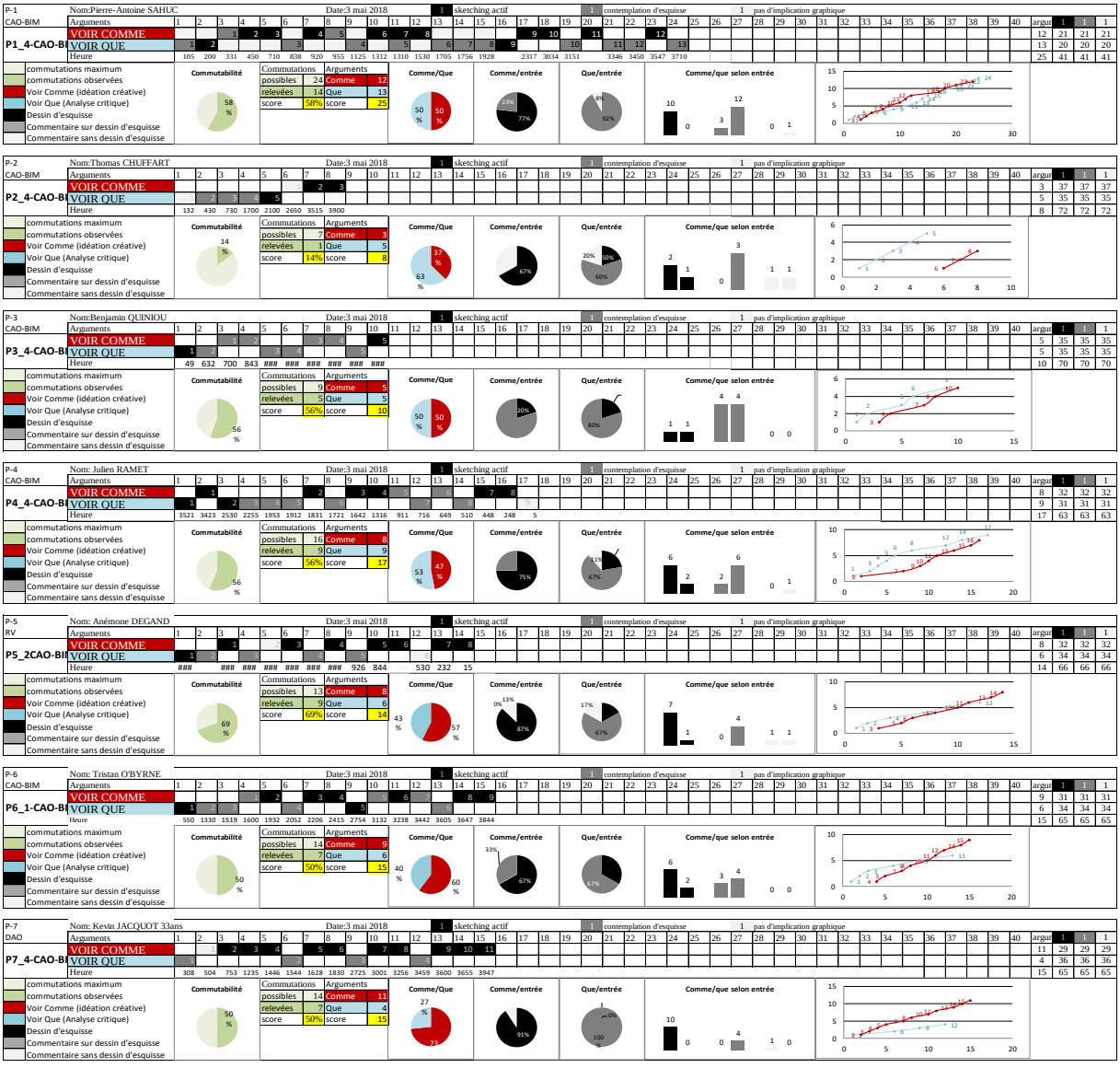




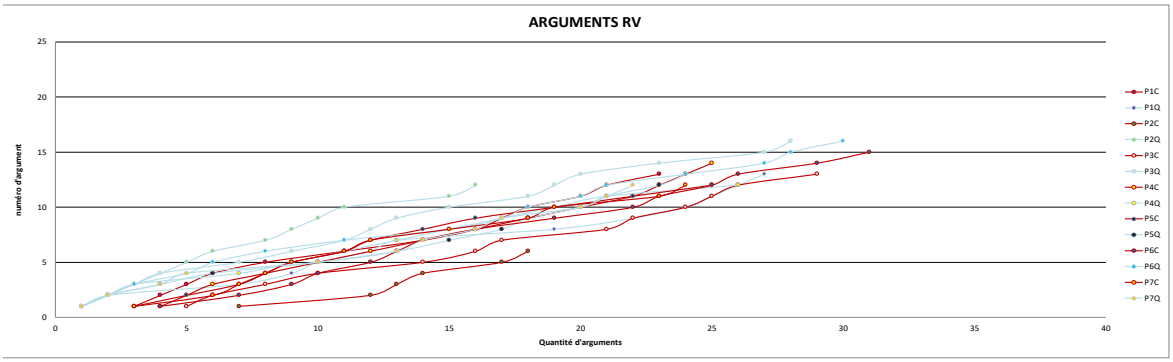


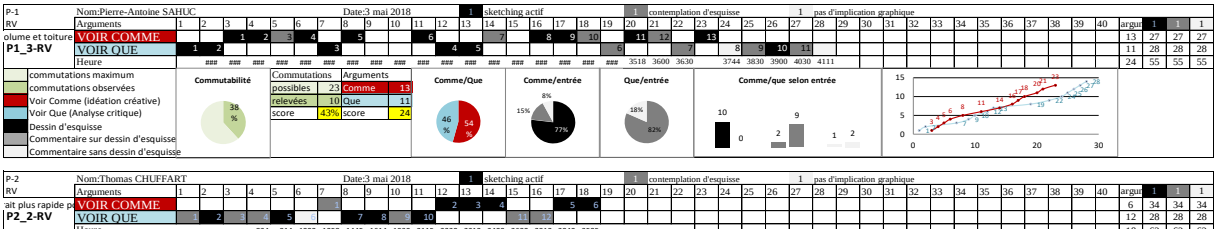
12.21. DialecBIM : Toutes les passassions en CAO-BIM

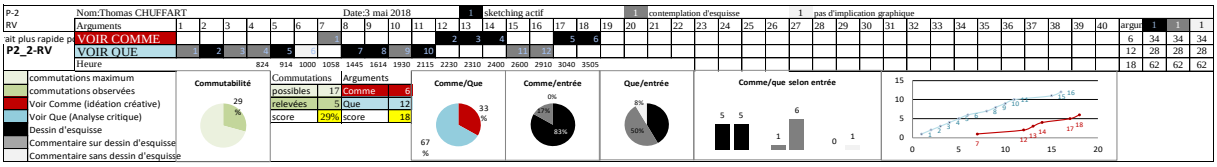


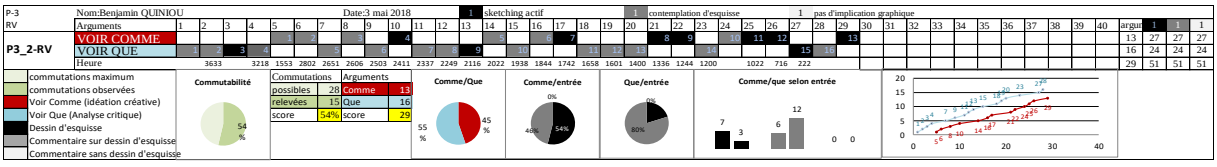


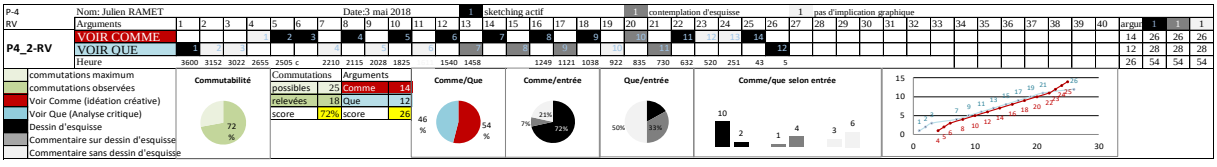
12.22. DialecBIM : Toutes les passassions en RV (VAirDraw)

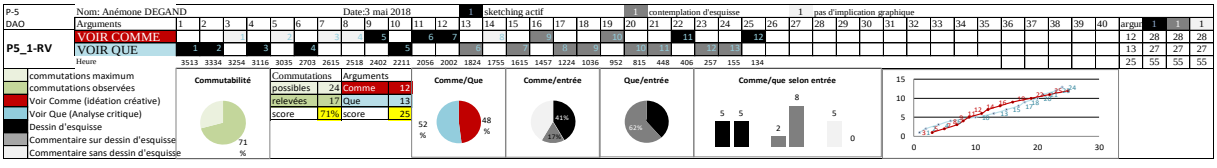


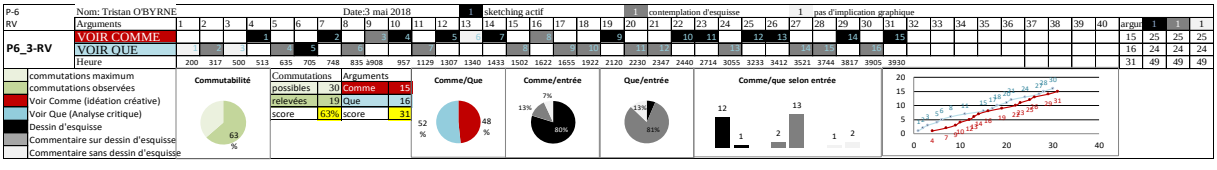


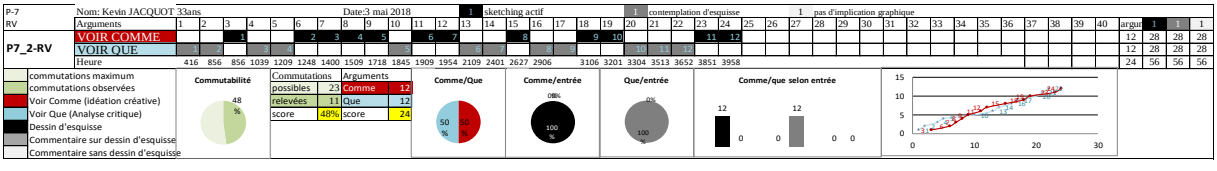












12.23. DialecBIM : Questionnaire, préférence et discussion

Participant	Initiales	Technique	ordre	Performance	Rapidity	Physical	Concentration	Frustration	Confidence	Enjoyment	Creativity	Expressivity	Memorability	Critic dimension	Modification	difficulty	accessibility	affordance	preference	Concentration: ne pas s'éparpiller/pas de retour d'information, tout est interprété
0	TC	main	4	6	6	7	4	7	7	7	7	7	7	5	4	6	6		1	
0	TC	DAO	2	2	2	7	4	1	3	1	1	2	4	4	1	2	3		4	séquence trop la réflexion et nécessite détournement/contraint par réflexion en plan/brouillon ok/interface utilisateur co
0	TC	CAO BIM	1	4	7	7	5	7	7	6	5	5	5	6	6	7	7		2	Difficulté à séquencer la réflexion./vitesse rend évident/bridé par ce qu'impose le logiciel./critique sur forme et données
0	TC	VAirDraw	3	6	5	1	1	6	7	7	7	7	6	4	1	5	6		3	Très fatiguant/ calque draft efficace/dur au début fatiguant à la fin
1	PAS	main	1	6	6	6	5	6	6	7	7	7	7	7	6	4	7	7	2	frustration car pas de fond informatique. Difficile au début.
1	PAS	DAO	2	3	3	1	1	5	4	3	5	2	4	6	6	1	6	2	3	on ne peut pas écrire
1	PAS	CAO BIM	4	4	4	6	6	3	6	4	4	5	4	3	6	4	3	4	4	frustration car à grande échelle, il manque peu de documents produit. Il manque l'ergonomie de sketchup.
1	PAS	VAirDraw	3	7	6	3	1	4	3	7	6	7	6	6	4	4	1	5	1	pas assis car pas assis pour l'immersion? Frustration. Gomme. Ecriture
2	TC	main	1	7	6	6	6	6	6	6	5	7	6	6	6	7	7	6	1	en 3D on développerait plus. Equivalent rouleau de calque en RV? EN RV on ne peut pasd corriger. En RV parfois une
2	TC	DAO	4	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	4	2	1	1	4	
2	TC	CAO BIM	3	4	4	6	3	1	5	6	3	5	6	6	7	4	3	3	3	frustration n'aide pas à poser les idées, réfléchir trop dans le faire pas assez dans la réflexion
2	TC	VAirDraw	2	5	6	4	3	5	5	6	3	5	4	6	1	4	3	4	2	améliorer interface (contrôleur)
3	BQ	main	1	6	6	7	6	7	6	7	7	7	6	6	6	7	7	7	1	Pas besoin de gomme car dessin au feutre ou retracer les traits , conserver les anciens tracés
3	BQ	DAO	3	3	2	6	4	2	4	2	3	3	4	4	6	4	6	4	4	Dur d'abandonner ses habitudes (menu, raccourcis absents etc.)
3	BQ	CAO BIM	4	5	5	6	6	5	6	5	5	4	4	5	6	6	3	5	3	Expressivité: carcan du logiciel. Mémoire: on va suppruimer les traces rémanentes de dessin
3	BQ	VAirDraw	2	6	6	5	5	5	6	5	5	5	4	5	3	5	1	4	2	Dessin de détail difficile: une accroche objet pour faire des rectangles? Raturage gênant à cause du contexte, traits enco
4	JR	main	3	6	6	6	7	7	6	6	6	6	6	6	3	6	7	6	2	
4	JR	DAO	1	3	2	7	3	5	6	4	3	3	4	3	5	5	6	1	3	Plaisir retrouvé de l'ancien grapheurd. L'écriture, les délias, effets, vue en 3D sont appréciés.
4	JR	CAO BIM	4	2	3	6	2	2	6	2	2	1	5	3	3	5	2	1	4	Dimension critique 3 car resté en 2D
4	JR	VAirDraw	2	7	7	4	7	7	7	7	7	7	6	6	6	7	1	7	1	
5	AD	main	4	7	5	7	6	7	5	7	7	6	7	5	2	7	7	7	1	beaucoup de temps perdu à modéliser des choses inutiles; La 3D les coupes permettent de changer de points de vue
5	AD	DAO	3	6	7	5	6	5	6	5	7	4	6	2	5	5	7	6	3	2 en vue critique car toujours le même point de vue
5	AD	CAO BIM	2	2	2	3	3	1	6	3	2	3	3	5	5	3	7	6	4	A la main (modification), on ne doit recommencer mais c'est facile (
5	AD	VAirDraw	1	5	6	7	6	3	4	6	5	6	6	7	1	4	1	6	2	Bien d'être debout. Pas aussi confiante que possible car certaines tâches impossible, comme dessiner plus précisément,
6	TO'B	main	2	7	7	6	7	6	6	7	7	6	6	6	6	7	6	6	1	Bon pour la mémoire
6	TO'B	DAO	4	2	2	5	5	2	3	2	1	2	2	2	4	2	6	2	4	
6	TO'B	CAO BIM	1	5	3	7	6	3	6	4	3	3	6	3	5	4	6	2	3	Frustrant au départ mais prometteur pour la suite.Fastidieux mais pas difficile.
6	TO'B	VAirDraw	3	6	6	2	3	6	5	7	6	4	3	4	2	6	1	6	2	Coute
7	KJ	main	3	5	6	7	6	6	6	6	6	5	6	7	6	7	7	6	2	Il manquait certains documents (coupes, profils urbains topo), Créativité 5 (contenu)
7	KJ	DAO	1	2	2	4	6	1	3	2	2	2	2	2	3	6	3	7	4	mémoire: affichages cartes 2D amélioré par positions prédéfines. Intérêt de la 3D par rapport à 2D car 3D pas assez pré
7	KJ	CAO BIM	4	2	2	6	4	7	5	4	2	2	2	3	3	2	7	4	3	Concentration dégradée par la recherche des fonctionnalités
7	KJ	VAirDraw	2	6	6	3	6	6	6	6	7	6	6	6	3	7	5	4	1	

classement moyen par critère	Performance	Rapidity	Physical	Concentration	Frustration	Confidence	Enjoyment	Creativity	Expressivity	Memorability	Critic dimension	Modification	difficulty	accessibility	affordance	preference
Main	6,29	6,00	6,43	6,14	6,43	6,00	6,57	6,29	6,43	6,43	6,00	5,14	6,29	7,00	6,43	1,43
DAO	3,00	2,71	4,29	3,57	2,43	4,14	3,00	3,00	3,00	3,00	2,71	5,14	3,14	5,57	2,71	3,57
CAO-BIM	3,43	3,29	5,71	4,29	3,14	5,71	4,00	3,00	3,29	4,29	4,00	5,00	4,00	4,43	3,57	3,43
RV-VAirDraw	6,00	6,14	4,00	4,43	5,14	5,00	6,43	5,57	5,71	5,00	5,71	2,86	5,29	1,86	5,14	1,57

12.24. DialecBIM : Scores par modalité (commutabilité, Arguments, Préférences)

COMMUTABILITE EN %	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	
MAIN	68	58	54	69	60	52	62	44	57	
DAO	85	59	67	67	55	64	69	64	64	
CAO-BIM	76	58	14	56	56	69	50	50	50	
RV	91	43	29	54	72	71	63	48	54	

ARGUMENTS Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	
MAIN	26	34	27	27	26	22	27	17	26	4,8
DAO	14	18	7	10	12	15	14	12	13	3,3
CAO-BIM	18	25	8	10	17	14	15	15	15	5,1
RV	24	27	18	29	26	25	31	24	26	3,8

TIERCE D'ARGUMENTS Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	
MAIN		8	5	6	4	5	8	4	5,7	22%
DAO		6	1	2	2	3	3	2	2,7	22%
CAO-BIM		6	1	3	4	4	4	4	3,7	25%
RV		7	4	6	4	6	8	7	6	23%

PAIRES D'ARGUMENTS Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	
MAIN		7	3	6	3	5	5	4	4,7	18%
DAO		4	0	2	0	3	3	2	2	16%
CAO-BIM		4	0	4	1	4	3	2	2,6	17%
RV		4	2	4	0	5	7	7	4,1	16%

UNITE D'ARGUMENT Qté	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	
MAIN		10	9	12	10	5	10	2	8,3	32%
DAO		6	4	6	2	6	7	5	5,1	41%
CAO-BIM		7	0	2	7	6	3	4	4,1	28%
RV		7	1	8	16	12	11	3	8,3	32%

PREFERENCE (classement)	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	MOYENNE	ENTIE
MAIN	1	2	1	1	2	1	1	2	1,4	1
DAO	4	3	4	4	3	3	4	4	3,6	4
CAO-BIM	2	4	3	3	4	4	3	3	3,4	3
RV	3	1	2	2	1	2	2	1	1,6	2

12.25. DialecBIM : Qualité d'input d'argument

Input d'arguments: MAIN	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	63%	53%	61%	50%	60%	46%	50%
Paires	43%	67%	58%	83%	70%	70%	88%
Unité	17%	11%	67%	50%	40%	50%	100%
Input d'arguments: DAO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	39%	67%	67%	50%	56%	44%	50%
Paires	50%	0%	50%	0%	67%	50%	100%
Unité	50%	100%	50%	50%	50%	86%	60%
Input d'arguments: CAO-BIM	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	56%	33%	89%	58%	58%	58%	58%
Paires	50%	0%	88%	100%	75%	83%	100%
Unité	71%	0%	50%	57%	50%	67%	100%
Input d'arguments: RV	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Tierce	57%	33%	61%	50%	50%	42%	67%
Paires	63%	50%	50%	0%	60%	57%	57%
Unité	57%	100%	75%	44%	42%	55%	67%

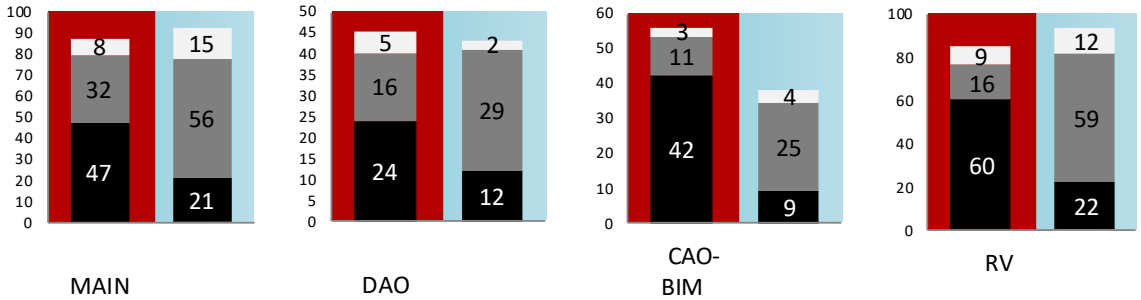
Dessin d'esquisse
Commentaire sur dessin d'esquisse
Commentaire sans dessin d'esquisse

12.26. DialecBIM : Qualité d'input Comme et Que par modalité

VOIR COMME/QUE MAIN	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COM	QUE	TOTAL
Dessin d'esquisse	8	2	5	5	8	2	11	3	6	5	4	2	5	2	47	21	68
Commentaire sur dessin d'es	10	6	4	11	4	9	2	9	5	4	6	9	1	8	32	56	88
Commentaire sans dessin d'e	3	5	0	2	1	2	0	1	1	1	2	4	1	0	8	15	23
sous-total	21	13	9	18	13	13	13	13	12	10	12	15	7	10	87	92	179

VOIR COMME/QUE DAO	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COM	QUE	TOTAL
Dessin d'esquisse	3	4	2	0	1	3	1	3	8	0	3	1	6	1	24	12	36
Commentaire sur dessin d'es	6	4	2	3	3	3	1	5	1	5	3	5	0	4	16	29	45
Commentaire sans dessin d'e	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	0	0	1	5	2	7
sous-total	10	8	4	3	4	6	4	8	9	6	8	6	6	6	45	43	88

VOIR COMME/QUE CAO-BIM	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COM	QUE	TOTAL
Dessin d'esquisse	10	2	2	1	1	1	6	2	7	1	6	2	10	0	42	9	51
Commentaire sur dessin d'es	2	0	0	3	4	4	2	6	0	4	3	4	0	4	11	25	36
Commentaire sans dessin d'e	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	3	4	7
sous-total	12	2	3	5	5	5	8	9	8	6	9	6	11	5	56	38	94
VOIR COMME/QUE RV	P1	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	COM	QUE	TOTAL
Dessin d'esquisse	9	6	5	5	7	3	10	2	5	5	12	1	12	0	60	22	82
Commentaire sur dessin d'es	4	4	1	6	6	12	1	4	2	8	2	13	0	12	16	59	75
Commentaire sans dessin d'e	0	3	0	1	0	0	3	6	5	0	1	2	0	0	9	12	21
sous-total	13	13	6	12	13	15	14	12	12	13	15	16	12	12	85	93	178



Histogramme synthétisant les qualités d'entrée des arguments : Noir= graphique sans langage, gris foncé= langagière sur base graphique, gris clair= langagier seul

12.27. DialecBIM : Courbes d'arguments Comme et Que des participants

