

---

Université de Liège  
Faculté des Sciences Appliquées  
Département ArGEnCo - Architecture,  
Géologie, Environnement et Constructions  
LUCID-ULg - Lab for User Cognition and  
Innovative Design



La **M**édiation par les objets  
en design industriel  
*Perspectives pour l'ingénierie de  
conception*

Catherine Elsen

Dissertation présentée en vue de l'obtention du  
titre de Docteur en Sciences de l'Ingénieur  
(architecture, génie civil et géologie)

Année 2010-2011

Académie Universitaire Wallonie-Europe  
Ecole Doctorale Thématique Architecture,  
Urbanisme, Ingénierie Architecturale et Urbaine

---



---

Ce document présente les résultats originaux d'une recherche de thèse menée par

Catherine Elsen  
Aspirante F.R.S.-FNRS  
Ingénieur Architecte - Université de Liège  
LUCID-ULg  
Chemin des Chevreuils n° 1, bâtiment B52/3  
4000 Liège - Belgium  
e-mail : catherine.elsen@ulg.ac.be

---

---

Composition du Jury pour la défense de la thèse :

Prof. Pierre Leclercq et Prof. Françoise Darses, promoteur et co-promotrice ;  
Prof. Pierre Duysinx, Président du Jury ;  
Mesdames et Messieurs les Professeurs Adélaïde Blavier, Sylvain Kubicki, Henry Lieberman et  
Jacques Teller, membres du jury

---

---

Cette recherche a été financée par :  
Fonds de la Recherche Scientifique - FNRS  
Rue d'Egmont, 5  
1000 Bruxelles - Belgium

---

---

Citation : Elsen, C. (2011). La médiation par les objets en design industriel, perspectives pour l'ingénierie de conception. PhD Thesis, University of Liège, Belgium, pp. XXX.

---



## ABSTRACTS

---

La conception préliminaire, durant laquelle plus de 70% des coûts totaux d'un projet sont déterminés, est une phase cruciale du cycle complet. Elle réunit généralement plusieurs acteurs autour de la résolution innovante d'un problème complexe : elle fusionne leurs expertises complémentaires, l'usage d'objets médiateurs et une part mystérieuse de créativité pour l'atteinte d'une solution si possible innovante, au moins satisfaisante.

Avec l'introduction de logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) toujours plus puissants, le design industriel voit ses pratiques quotidiennes notablement évoluer : ces logiciels ne soutiennent pas encore les besoins des concepteurs en phase d'idéation, tandis que le dessin à main levée, plus traditionnel, répond de plus en plus difficilement aux pressions temporelles et économiques contemporaines.

Cette thèse examine les potentiels respectifs et complémentaires du dessin à main levée et des logiciels de CAO comme soutien aux phases préliminaires de la conception. Elle associe d'une part les concepts avancés de l'ingénierie de la conception pour l'étude de l'articulation particulière des deux objets médiateurs et, d'autre part, les méthodologies dédiées de l'ergonomie cognitive pour l'analyse des pratiques métier. Elle puise ses principaux résultats qualitatifs et quantitatifs dans trois études de terrain et deux expérimentations en laboratoire auxquelles ont participé plus d'une quarantaine de designers professionnels ainsi que trois entreprises.

Son approche multidisciplinaire mène à la définition d'un ensemble de modèles et recommandations qui nourrissent la mise au point d'un système d'assistance. Ces spécifications respectent, augmentent ou au contraire rejettent certains aspects des objets médiateurs et soutiennent une conception toujours en accord avec les contraintes et les besoins réels des concepteurs.

Au delà du soutien à la conception préliminaire en design industriel, nous discutons plusieurs résultats intéressant plus largement la communauté de l'ingénierie de conception et de l'ergonomie logicielle. Nous retenons parmi eux :

- l'extension des frontières de la conception préliminaire ;
- l'approche non dichotomique des objets médiateurs esquissés et détaillés ;
- la coexistence de deux types de conception, soit la conception par conversation réflexive et la conception par externalisation d'une image mentale ou d'une forme pré-inventive forte ;
- l'étude des usages et déviations des outils, des contenus graphiques et sémantiques des représentations tout au long d'un processus de conception industrielle modélisé en quatre phases principales ;
- l'étude des shifts entre représentations 2D - 3D et leurs implications en terme d'automatisation de l'assistance ;
- à l'échelle du trait, l'étude des key-features (ou l'essence exploitable de la représentation) et des cycles de traits et leurs implications pour la temporalité de l'assistance.

La thèse discute également les valeurs ajoutées de ses fondements théoriques et méthodologiques pour la concrétisation d'une ingénierie de la conception qui articule concepteur, objets médiateurs, processus de conception et utilisateurs finaux en un ensemble cohérent, base saine pour la spécification de systèmes d'assistance adaptés et adoptés.



The preliminary ideation phase, determining more than 70 % of a project's total costs, is a crucial part of the design process. It usually gathers several actors around the innovative solving process of a complex problem : it merges their complementary expertise, the use of mediating objects as well as a mysterious part of creativity in order to reach a solution if not innovative, at least satisfactory.

With the introduction of always more powerful Computer Aided Design tools, industrial design sees its every-day practices drastically evolving : these software still not support designers during their preliminary design phases and free-hand sketches, on the other hand, encounter increasing difficulties to meet today time-to-market pressures.

This thesis analyzes free-hand sketches' and CAD tools' respective and complementary strengths as supports to preliminary design phases. Advanced design engineering concepts, nurturing the study of the particular articulation existing between both mediating objects, are associated with dedicated Human Factors methodologies for the analysis of every-day professional practices. The research project draws its main qualitative and quantitative results from three field studies and two experimentations, bringing together more than forty professional designers and three design companies.

Its multi-disciplinary approach leads to models and recommendations that directly nurture the definition of a new design support system. The specifications tend to respect, augment or, on the contrary, reject some aspects of these mediating objects and aim at supporting a design process always in respect with designers' constraints and real needs.

Beyond the concepts of our support system, we discuss some results that are of interest for communities of design engineering and human-computer interaction. Among these results are :

- the extension of the preliminary design phase's borders ;
- the non-dichotomous approach of rough and detailed mediating objects ;
- the coexistence of two design moves : in addition to Schön's «see-transform-see» theory, the externalization of a strong mental image or a strong pre-inventive form explains the early uses of CAD tools ;
- the study of tool's uses and misuses and graphic and semantic contents of external representations all along the design process, reintroduced in a simplified four-steps model ;
- the study of shifts occurring between 2D and 3D representations and their implications for the system's automatization ;
- and, at the strokes' scale, the study of the exploitable key-features and the strokes' cycles and their implications for the temporality of assistance.

The thesis also discusses the added-value of its theoretical and methodological background for the materialization of a design-engineering community that articulates designer, mediating objects, design process and end-users in a coherent system, sound basis for the specification of adapted and adopted design support systems.





## PREFACE

---

Le tableau de cette thèse pourrait se composer de trois couleurs : l'une, dominante, est propre à l'ingénierie à qui il est demandé de définir les principes d'un soutien logiciel à la conception préliminaire en design industriel. La seconde, tout aussi vive, est celle de la conceptrice, qui va inmanquablement vouloir puiser dans son expérience personnelle en conception architecturale et tenter de jeter des ponts entre ces métiers parfois si différents. La dernière s'insinue par petites touches : c'est la teinte donnée par l'ergonomie, cette étude de l'homme au travail qui équilibre les tendances et rend la composition harmonieuse.

Il a été parfois tentant, tout au long de ces quatre années, d'étaler d'épaisses couches d'une discipline au détriment des autres. Il aurait été en effet confortable de se laisser porter par ses fausses idées, par le fantasme d'une approche technique de la conception, vue comme «simple» juxtaposition de sous-problèmes à résoudre. Ou encore de dériver des modèles connus en conception architecturale, mais inadaptés à la conception industrielle, emplanté sur une jambe de bois. Le développement de la solution aurait pu paraître convaincant, mais n'aurait eu dans le fond que peu de sens pour les acteurs du terrain, ceux vers qui sont sensés, à terme, tendre tous nos efforts. La recherche aurait pu également se contenter d'un portrait fidèle mais consensuel, constat d'une situation existante qui n'aurait pu prétendre à enrichir ni les connaissances fondamentales de la discipline élargie, ni les fondations d'une assistance innovante.

La particularité de cette thèse tient donc en son approche multi-disciplinaire. Notre profil d'ingénieur architecte, qui facilite l'analyse des contenus graphiques et l'interprétation des mécanismes fondamentaux de la conception, s'est complété en 2006 de quelques expériences en design industriel à l'occasion d'un séjour Erasmus de six mois à la Bauhaus Universität de Weimar (Faculté Produkt Design). L'intérêt pour le domaine s'est poursuivi tout au long de notre dernière année d'ingénierie à l'Université de Liège et c'est finalement sous l'égide du Prof. Pierre Leclercq et du Fonds de la Recherche Scientifique (FNRS) que les travaux de recherche ont été entamés. Un séjour de recherche de six mois à Paris, à l'invitation de notre co-directrice de thèse Madame la Professeure Françoise Darses, nous a ensuite permis d'approfondir nos connaissances en ergonomie et psychologie cognitive et de décrocher un Master Recherche (anciennement Diplôme d'Etudes Approfondies) en Sciences du Travail et de la Société, Mention Ergonomie.

Cette approche multi-disciplinaire ne laisse pas de place aux choix de facilité : les compromis sont nombreux et nécessaires mais répondent à une volonté constante d'utilisabilité, de cohérence et de respect des principes fondamentaux des métiers de la conception industrielle. C'est grâce à cette démarche multi-disciplinaire que la thèse s'intègre dans les méthodologies de recherche les plus plébiscitées actuellement (Achten, Dorst, Stappers, & de Vries, 2005). J'ai pu effectuer bon nombre de ces choix grâce à l'aide précieuse de plusieurs personnes. Je ne pourrais les citer toutes ici, mais désire tout particulièrement remercier

Monsieur le Professeur Pierre Leclercq, mentor et promoteur de cette thèse, pour m'avoir toujours guidée sur le chemin le plus constructif, pour son appui inconditionnel, sa confiance à toute épreuve, les formidables moyens qu'il a mis à ma disposition et les opportunités qu'il m'a offertes ;

Madame la Professeure Françoise Darses (Expert Chercheur, Professeure des Universités), co-promotrice, pour m'avoir accueillie, initiée et convaincue des nombreux atouts d'une ingénierie



au service de l'Homme ; pour m'avoir inculqué les principes d'une méthodologie rigoureuse et efficace qui m'ont permis de faire mes premiers pas en tant que scientifique ;

Monsieur le Professeur Pierre Duysinx, Professeur Ordinaire à l'Université de Liège, qui me fait le grand honneur de bien vouloir présider le jury de la défense de thèse ;

Madame Adélaïde Blavier (Chargée de Cours à l'Université de Liège et chargée de recherche au F.R.S.-FNRS) ;

Monsieur Sylvain Kubicki (Chargé de recherches au CRP Henri Tudor, Luxembourg et chargé de cours à l'Université de Liège et à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy) ;

Monsieur Henry Lieberman (Professeur au Massachusetts Institute of Technology, USA) ;

Monsieur Jacques Teller (Professeur à l'Université de Liège et collaborateur scientifique F.R.S.-FNRS),

qui enrichissent la thèse de leurs expertises respectives et qui me font le grand honneur de participer au jury de la défense ;

Toute l'équipe du LUCID, passée et actuelle, pour son soutien inconditionnel et sa bonne humeur et plus particulièrement Monsieur Stéphane Safin, pour les nombreux conseils qu'il m'a prodigués ;

Messieurs et Mesdames William Baillez, Michaël Bihain, Damien Bihr, François Bormans, Jonathan Buret et ses collègues de DN&T, Julie Devillers-Godon, Nicolas Destino, Jonathan Honvoh, Vincent Jalet et ses collègues de Tupperware®, Pierre Julémont, Aurore Knapic, Pascal Koch, Henriette Michaux, Pierre Monseu, Jean-François Parisse, Daphne et Eric de Dredt, Tristan Slegers, Claude Velasti ; l'équipe de Mysis Jérôme Fraikin et Denis Stevens ; Gérard Pitance et toute son équipe de Concept et Forme (STUV) ; Eric Delvaux et David Roig de See & Touch ; Alain Beaupain et Georges Vroonen de Prospective Design pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes recherches et le temps qu'ils m'ont offert ;

Mlle Clio Brzakala et toute l'équipe de Wallonie Design pour leur aide et leur conseils ;

Rachelle, pour ses multiples talents d'infographiste ;

ma grand-mère, ma famille et mes proches, pour leur patience et leur soutien ;

François, pour avoir été mon éclaircisseur tout au long du processus de conception de cette thèse.

## TABLE DES MATIERES

---

Chapitre 1 - Contexte, problématique, objectifs et intérêts de la recherche	1
1. Contexte et problématique la recherche	1
1.1. <i>Le design industriel : enjeux et défis</i>	1
1.2. <i>La place de la conception préliminaire en ingénierie de la conception et de la Conception Assistée par Ordinateur en design industriel</i>	4
2. Proposition - cadre	8
3. Etude préliminaire: réduction du champ d'exploration, questions de recherche et moyens	11
3.1. <i>Réduction du champ d'exploration et hypothèses</i>	14
3.2. <i>Questions de recherche</i>	15
Chapitre 2 - Etat de l'Art	23
1. Processus de conception en activités expertes	23
1.1 <i>Processus cognitifs en conception - les principales communautés de recherche</i>	23
1.2 <i>Principales caractéristiques du processus de conception</i>	26
1.3 <i>La conception vue comme un processus créatif</i>	29
1.4 <i>La conception vue comme la résolution d'un problème - l'approche SIP</i>	30
1.5 <i>La conception vue comme une activité réflexive et située - l'approche SIT</i>	32
1.6 <i>L'approche anthropo-centrée de l'activité et la théorie instrumentale</i>	33
1.6.1 <i>Pertinences</i>	33
1.6.2 <i>La théorie de l'activité comme référentiel d'étude théorique</i>	36
1.6.3 <i>La théorie instrumentale comme référentiel d'étude de la médiation de l'activité par les objets médiateurs</i>	38
1.7 <i>Modèles de processus cognitifs</i>	42
1.8 <i>La conception collaborative</i>	47
1.9 <i>Méthodologies et modes opératoires en conception</i>	51
2. Et le design industriel dans tout cela ?	52
3. Outils actuels (traditionnels et numériques) en conception industrielle	58
3.1 <i>Classifications des principaux outils médiateurs en conception</i>	58
3.2 <i>Tableau récapitulatif et comparatif des principaux avantages et inconvénients du dessin et de la CAO - approche cognitive</i>	59
3.3 <i>Le dessin à main levée : l'outil traditionnel par excellence</i>	62
3.3.1 <i>Les contenus et caractéristiques du dessin.</i>	63
3.3.2 <i>Avantages du dessin</i>	66
3.3.3 <i>Limitations du dessin</i>	67
3.4 <i>L'outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur</i>	67
3.4.1 <i>Les contenus et caractéristiques de la CAO</i>	69
3.4.2 <i>Avantages de la CAO</i>	70
3.4.3 <i>Limites de la CAO</i>	71
3.5 <i>Approche comparative des usages</i>	73
3.5.1 <i>Evolution des points de vue - l'outil traditionnel de dessin à main levée</i>	74
3.5.2 <i>Evolution des points de vue - l'outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur</i>	76

3.5.3	<i>Questions ouvertes</i>	77
4.	Les représentations externes en conception : utilités, paradoxes	78
4.1	<i>Les classifications cognitives des représentations</i>	79
4.2	<i>La conception vue comme une construction de représentations</i>	81
4.3	<i>Les avantages et limitations des représentations externes en conception</i>	82
4.4	<i>Représentation perçue, générée, ou interprétée</i>	86
4.5	<i>Représentations et formalisme visuel</i>	88
4.6	<i>Perspectives</i>	91
5.	SBIM et nouvelles interactions	92
5.1	<i>Interactions nouvelles en modélisation tri-dimensionnelle</i>	94
5.2	<i>SBIM, ou Sketch Based Interfaces for Modeling</i>	96
5.2.1	<i>Capture et positionnement des traits</i>	98
5.2.2	<i>Reconstruction géométrique</i>	100
5.2.3	<i>Reconnaissance et interprétation (sémantique) des traits</i>	101
5.3	<i>Prototypes à fonctionnalités ciblées</i>	104
5.4	<i>Questions ouvertes</i>	104
6.	Positionnement théorique - L'approche dichotomique vs. complémentaire des objets médiateurs	106
6.1	<i>Constat : prégnance de l'approche dichotomique</i>	106
6.2	<i>Parti théorique : l'étude des complémentarités des objets médiateurs</i>	107
6.3	<i>Evolution des questions de recherche</i>	108
7.	Enjeux de la recherche	110
 Chapitre 3 - Etude des objets médiateurs, opérationnalisation des questions de recherche et traitement des données		113
1.	Articulation des différentes études	113
2.	Les méthodologies ergonomiques de recueil des données	116
3.	Etudes de terrain - l'objet médiateur au sein des contextes professionnels de la conception	121
3.1	<i>Etude transversale PRO_COLLAB - la revue collaborative de projet</i>	121
3.1.1	<i>Présentation du contexte et de l'équipe</i>	122
3.1.2	<i>L'objet de la conception</i>	124
3.1.3	<i>Méthodologie et recueil des données</i>	125
3.1.4	<i>Spécificités, variants / invariants</i>	129
3.2	<i>Etude longitudinale PRO_DUO - Le binôme designer-dessinateur et la métaphore du client absent : l'objet médiateur dans le contexte du concours</i>	134
3.2.1	<i>Présentation du contexte et de l'équipe</i>	135
3.2.2	<i>Objet de la conception</i>	136
3.2.3	<i>Méthodologie et recueil des données</i>	137
3.2.4	<i>Spécificités, variants / invariants</i>	138
4.	Etude du trait en conditions contraintes	140
4.1	<i>Etude longitudinale ANOTO - Taxonomie des traits et vente de la représentation : le cas de la commande</i>	140
4.1.1	<i>Présentation du contexte et de l'équipe</i>	141
4.1.2	<i>L'objet de la conception</i>	142
4.1.3	<i>Méthodologie et recueil des données</i>	143

4.1.4	<i>Spécificités, variants / invariants</i>	145
4.2	<i>Expérimentations ciblées en laboratoire TRAGERE - Opérationnalisation des taxonomies, capture des principes de réappropriation et des key features</i>	148
4.2.1	<i>Présentation du contexte</i>	149
4.2.2	<i>Les sujets et l'objet de la conception</i>	150
4.2.3	<i>Méthodologie et recueil des données</i>	151
4.2.4	<i>Spécificités, variants / invariants</i>	155
5.	<i>Expérimentations ciblées en laboratoire FORMA_V - Représentations et formalisme visuel</i>	157
5.1	<i>Présentation du contexte et de l'équipe, objet de l'expérimentation, méthodologie et recueil des données.</i>	158
5.2	<i>Spécificités, variants / invariants</i>	159
6.	<i>Méthodologie de traitement des données</i>	161
6.1	<i>Pré-traitement qualitatif et codage des données</i>	162
6.2	<i>Traitement quantitatif des données</i>	173
 <b>Chapitre 4 - Résultats</b>		179
1.	<i>Une diversité des situations observées pour un panorama complet de la conception préliminaire</i>	183
2.	<i>La «conception préliminaire» et les usages neufs de la Conception Assistée par Ordinateur</i>	190
2.1	<i>L'élargissement des frontières de la conception préliminaire et les allers-retours dans les usages des objets médiateurs</i>	190
2.2	<i>Nouveaux potentiels pour les outils de Conception Assistée par Ordinateur</i>	195
2.3	<i>Les niveaux «esquissés» et «détaillés» des représentations externes</i>	199
3.	<i>Conceptualisation et esquisse du projet</i>	201
3.1	<i>Les objets médiateurs en conceptualisation et les principes de sélection</i>	203
3.1.1	<i>Approche comparée des spécificités des objets médiateurs</i>	203
3.1.2	<i>Caractéristiques et utilités du dessin rapide</i>	210
3.1.3	<i>Caractéristiques et utilités de la modélisation esquissée</i>	214
3.2	<i>Les deux types de conception : la conversation réflexive et l'externalisation d'une image mentale</i>	219
3.3	<i>Shifts entre représentations «papier - numérique» et «2D - 3D»</i>	227
3.4	<i>Shifts de pages et gestion des calques</i>	236
4.	<i>Travail collaboratif sur l'essence communiquée</i>	240
4.1	<i>Les objets médiateurs en collaboration et leur essence communiquée, communicable</i>	242
4.1.1	<i>Le dessin à main levée - le transfert viral et instantané de l'information</i>	244
4.1.2	<i>Le dessin support d'annotations</i>	246
4.1.3	<i>La CAO en travail collaboratif : dynamique, surbrillances et désignations</i>	248
4.2	<i>La boucle collaborative sur l'essence communiquée : impact de la collaboration avec les clients sur l'usage des objets médiateurs</i>	250
4.3	<i>Multimodalité en conception collaborative et usage des représentations multiples</i>	251
4.4	<i>La capture et la traçabilité du «design rationale»</i>	253
5.	<i>Transfert et appropriation : vers l'expression synthétique de l'esquisse</i>	254
5.1	<i>Modalités collaboratives de transfert et impact sur les usages des objets médiateurs</i>	258
5.2	<i>Les différents phénomènes de transfert et appropriations</i>	260
5.2.1	<i>Transferts et appropriations designer - dessinateur</i>	260
5.2.2	<i>Transferts et appropriations designer - designer et complexification de ces mécanismes</i>	263

5.3	<i>Détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition</i>	268
6.	Modifications, itérations et évolution des niveaux d'abstraction : vers l'expression technique d'un modèle détaillé	271
 Chapitre 5 - Discussion		277
1.	Introduction	277
2.	Dessin à main levée - Outils de modélisation Assistée par Ordinateur : Positionnement	279
2.1	<i>Résumé des caractéristiques à conserver, à augmenter, à modifier</i>	279
2.2	<i>Dessin à main levée - CAO : Positionnements pour une assistance</i>	282
3.	Les trois étapes du SBIM : positionnements	284
3.1	<i>Pertinence de l'approche symbolique/sémantique et de l'interprétation du contenu de l'esquisse</i>	284
3.2	<i>Pertinence et temporalité de l'intervention numérique</i>	288
3.2.1	<i>L'étape de beautification des traits</i>	290
3.2.2	<i>La temporalité d'assistance</i>	292
3.2.3	<i>L'intervention d'évaluateurs</i>	293
3.3	<i>Pertinence d'une automatisation des passages 2D-3D</i>	294
3.4	<i>Difficultés d'une capture et d'une reconstruction du modèle</i>	295
 Chapitre 6 - Spécifications		299
1.	Conceptualisation du système d'assistance	302
1.1	<i>Etape 1 du Process : l'introduction de fonds de plan et le positionnement de primitives géométriques de structure - la génération et l'exploitation d'un environnement pré-existant</i>	302
1.2	<i>Etape 2 du Process : le dessin à main levée au stylo numérique</i>	303
1.3	<i>Etapes 3 et 4 du Process : le positionnement de plans pour la construction interactive du modèle esquissé et la génération du modèle esquissé cohérent</i>	304
1.4	<i>Etape 5 du Process : la modification sur modèle esquissé</i>	307
1.5	<i>Etape 6 du Process : la manipulation du modèle esquissé final</i>	308
1.6	<i>Etape 7 du Process : le transfert vers les outils de CAO</i>	309
1.7	<i>Autres fonctionnalités</i>	309
1.7.1	<i>Capture des variantes et des logs au sein d'une structure arborée</i>	309
1.7.2	<i>Usage collaboratif de l'interface</i>	310
1.7.3	<i>Hardware</i>	312
2.	Check-list de modèles pour l'ingénierie de conception	313
 Chapitre 7 - Conclusions		317
1.	La Médiation par les objets en design industriel	317
2.	Perspectives pour l'ingénierie de conception	318
3.	Limitations	319
4.	Travaux futurs	321

## TABLE DES FIGURES

Fig. 1 - L'évolution de l'effort de conception en fonction du temps qui passe - Source : Building Information Modeling : A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers, (Smith & Tardif, 2009), p.104.	5
Fig. 2 - Les outils de CAO sont au moins «nécessaires» pour 66 % des designers interrogés et paradoxalement encore 45 % d'entre eux sont autodidactes. Source : Edti european design training incubator - Internet Surveys - sept.2009	7
Fig. 3 - Réduction du temps accordé aux phases conceptuelles esquissées - «Hypothetical sketches and fundamental design's future» – Hannu Pennttilä, Helsinki University of Technology.	8
Fig. 4 - Le risque d'une approche négligeant les besoins réels des utilisateurs. Emprunté à (Robinson & Bannon, 1991).	10
Fig. 5 - Comptages préliminaires et descriptifs des pratiques en design industriel	12
Fig. 6 - Premier panorama des profils de designers industriels.	14
Fig. 7 - Articulation des études et évolution de l'abstraction du projet de recherche.	17
Fig. 8 - La recherche en conception résumée par (Motte & Bjärnemo, 2004).	25
Fig. 9 - Extraits du tableau issu du mémoire de DEA de Laurence Belliès, avec ajouts d'autres auteurs réalisés par nos soins.	27
Fig. 10 - Le paradoxe de la conception dans son déroulement temporel - emprunté à (Midler, 1996).	35
Fig. 11 - Le triangle de l'activité - Théorie de l'activité - Ecole Russe (Léontiev, Vygotski)	36
Fig. 12 - Intégration des aspects socio-économiques et organisationnels, triangle de l'activité (Engeström)	38
Fig. 13 - Le triangle de médiation, mieux connu sous l'appellation de modèle SAI, pour «Situations d'Activités Instrumentées», Rabardel et Vérillon (1985).	40
Fig. 14 - «The cognitive artefacts of designing», Willemien Visser, 2006, p. 34 ; complété de (Self, Dalke, & Evans, 2009) en italique.	44
Fig. 15 - Modèles itératifs du processus de conception, Blessing, 1995.	45
Fig. 16 et 17 - Extraites du livre «Introducing to engineering design», Andrew Samuel et John Weir, 1999, p. 293.	46
Fig. 18 - La sémantique des traits dans le croquis d'architecte [1] et le schéma électrique ([2] emprunté à (Alvarado, 2004)) ; les codes graphiques du diagramme [3] et du schéma d'un coupe-circuit ([4] emprunté à (Davis, 2002)), en relation avec une axonométrie en design industriel ([5] issue de Pro_Collab).	53
Fig. 19 - Etat de l'art des avantages et inconvénients des deux principaux outils de conception.	61
Fig. 20 - Une interface typique d'un modeleur géométrique	70
Fig. 21 - Une interface typique d'un modeleur surfacique	70
Fig. 22 - Les principales qualités des outils de la conception. Emprunté à (Self, et al., 2009).	78
Fig. 23 - Les qualités des représentations multiples, extraites de (Ainsworth, 1999).	83
Fig. 24 - Classifications des représentations externes en architecture (Van de Vreken, 2008).	84
Fig. 25 - Le principe de superposition des calques pour l'interprétation auto-générée d'une visualisation 3D dynamique du bâtiment en cours de conception : EsQUIsE (Leclercq & Juchmes, 2002).	85
Fig. 26 - La sélection (point noir) d'une ligne révèle deux structures différentes (une polyligne ou un segment) alors que l'utilisateur pouvait s'en faire une seule et même interprétation initiale. Source : Jun et Gero, 1997, dans (Gero & Kelly, 2005)	90
Fig. 27 - L'interface DDDOOLZ. Extrait de (Achten, de Vries & Jessurun, 2000).	96
Fig. 28 - Sous-thématiques de recherche en SBIM. Extrait de (Johnson, Gross, Hong & al, 2008).	96
Fig. 29 - Capture d'écran de I Love Sketch : complexité visuelle du modèle filaire 3D. Extrait de (Bae, Balakrishnan, & Singh, 2011).	99
Fig. 30 - Teddy. Extrait de (Igarashi, Matsuoka & Tanaka, 2007).	101
Fig. 31 - ASSIST. Extrait de (Alvarado & Davis, 2001).	103
Fig. 32 - NEMo, dans son stade actuel de développement. Avec l'aimable autorisation de JN Demaret, LUCID, 2011.	103
Fig. 33 - Le démantèlement de l'approche dichotomique au bénéfice d'une étude des complémentarités.	107
Fig. 34 - Opérationnalisation et articulation des 5 études structurant notre projet de recherche.	115
Fig. 35 - L'interpénétration des résultats offerts par chaque étude suggère une discussion comparative des apports respectifs.	116
Fig. 36 - Grille générale d'entretien, commune aux cinq études.	118
Fig. 37 - Ajouts pour dessinateurs, ajouts pour binômes.	119
Fig. 38 - Les thématiques d'intérêt particulièrement révélées par l'étude pro_collab.	122
Fig. 39 - Population de l'entreprise - étude pro_collab.	123
Fig. 40 - Photographie d'un prototype qui semble formellement et technologiquement simple. Les annotations, pourtant, révèlent déjà une complexité sous-jacente.	125
Fig. 41 - Résumé des 13 moments de conception capturés et leurs caractéristiques.	127
Fig. 42 - Vue en coupe annotée du registre d'air.	128
Fig. 43 - Premiers croquis de François, traités par Luc, pour la modification de la fenêtre et de la porte du «Projet 2».	128
Fig. 44 - Spécimen d'une ligne du temps d'un processus bêta de conception.	129
Fig. 45 - Comparaison des lignes du temps.	130
Fig. 46 - Graphe d'activité du designer type de l'entreprise Pro_collab.	132
Fig. 47 - Graphe d'activité du dessinateur et imbrication des tâches de conception/modélisation/détection des erreurs.	133
Fig. 48 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'étude pro_duo.	135
Fig. 49 - L'équipe de pro_duo.	136
Fig. 50 - A gauche, représentation interne à l'équipe. A droite, extrait du modèle 3D détaillé tel qu'imprimé sur les planches.	139



Fig. 51 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'étude anoto.	141
Fig. 52 - L'équipe de anoto.	142
Fig. 53 - Le prototype développé en interne.	143
Fig. 54 (droite) et 55 (gauche) - La technologie Anoto® : son stylo bille et son cahier digitalisé. Issu de (Anoto, 2011).	145
Fig. 56 - Capture statique de deux des variantes proposées.	146
Fig. 57 - Capture statique du modèle 3D de la variante sélectionnée.	147
Fig. 58 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'expérimentation tragere.	149
Fig. 59 - L'application Tragere® et son rendu visuel photo-réaliste d'un dessin «papier-crayon».	152
Fig. 60 - Un exemple de conception rapide pour un plateau de cantine.	153
Fig. 61 - Quelques questions visant à confirmer l'objectif d'évaluation de l'interface	153
Fig. 62 - Un concepteur regrette l'absence de «control-z» et en mime le geste dans l'espace (schème du geste immédiatement extrait des pratiques courantes de l'informatique).	153
Fig. 63 - Détails de la passation de l'expérimentation tragere.	154
Fig. 64 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'expérimentation forma_v.	158
Fig. 65 - De gauche à droite, ligne par ligne, les représentations numérotées 1 à 5.	159
Fig. 66 - quelques relances dynamisent la verbalisation de la perception des 5 plaquettes.	159
Fig. 67 - Scanning des résultats des 13 verbalisations.	160
Fig. 68 - Codage 1 : description en «quand - qui - quoi» des actions codées.	165
Fig. 69 - Codage 2 : principales caractéristiques de l'objet médiateur.	166
Fig. 70 - Schéma d'intention chez Anoto.	167
Fig. 71 - Graphe topologique pour la conception d'un corps de chauffe.	167
Fig. 72 - Génération d'une variante physique.	168
Fig. 73 - Croquis technique pour la spécification du mécanisme d'ouverture de porte.	168
Fig. 74 - Codage 3 : capture de la phase cognitive et des modèles sous-jacents	169
Fig. 75 - Le trait, à peine visible, d'une ligne de force définissant à lui seul la courbure de la pièce.	170
Fig. 76 - Codage 4 : taxonomies de l'unité graphique et méthode de modélisation.	170
Fig. 77 - Codage 5 : schème d'utilisation et modalités collaboratives.	172
Fig. 78 - Codage 6 : shifts entre représentations ; annotations et shifts de page.	173
Fig. 79 - Nombre d'occurrences traitées et de valeurs introduites dans la grille globale de codage	174
Fig. 80 - Les designers en mode de pensée tri-dimensionnel au travers des quatre études.	174
Fig. 81 - Codage des traits flous et cristallisés.	175
Fig. 82 - Différents exemples de conception d'assemblages.	175
Fig. 83 - Résumé des cinq études et de leurs principaux résultats.	181
Fig. 84 - Le modèle récursif du scénario global des pratiques et d'usage des objets médiateurs. Boîte rouge: sous phase du modèle. Boîte blanche: résultat de cette sous phase.	183
Fig. 85 - Usage des objets médiateurs et objectifs poursuivis.	184
Fig. 86 - Niveaux d'abstraction atteints au sein des quatre contextes. [fonction gen] = fonction généralisée ; [carac phy] = caractéristique physique ; [spec] = spécifications.	185
Fig. 87 - Proportions de représentations détaillées et esquissées au sein des quatre études.	186
Fig. 88 (haut) et 89 (bas) - Sémantiques sous-jacentes portées par les différents projets observés.	187
Fig. 90 - Evolutions chronologiques des sémantiques sous-jacentes, dans les quatre contextes. En abscisse, les actions pour lesquelles ce codage particulier a pu être réalisé.	188
Fig. 91 - Un premier modèle sémantique de la conception préliminaire et ses outils avec les points de départ d'observation des études.	189
Fig. 92 - Evolution chronologique des phases de la conception chez Pro_collab (en revue collaborative de projet) et Pro_duo (en formulation conceptuelle d'idées). En abscisse, les actions pour lesquelles ce codage particulier a pu être réalisé.	190
Fig. 93 - Usage des principaux outils sur une base temporelle. En abscisse, les actions pour lesquelles ce codage particulier a pu être réalisé.	191
Fig. 94 - Ligne du temps globale de l'usage des objets médiateurs en conception industrielle.	193
Fig. 95 - Répartitions en pourcentage d'actions des usages des trois principaux outils médiateurs, chez Pro_collab et Pro_duo.	196
Fig. 96 - Certains types de représentations soutiennent préférentiellement certains objectifs. [Annot] = Annotation ; [Elev] = élévation ; [Persp] = perspective ; [FdPI] = dessin sur fond de plan. En abscisse, [Commu] = communication ; [Prod] = production.	197
Fig. 97 (gauche) et fig. 98 (droite) - Les usages de la CAO au travers des quatre principales phases de la conception, chez Pro_collab.	198
Fig. 99 - Répartition des niveaux d'abstraction au sein des deux principaux objets médiateurs, chez Pro_collab.	198
Fig. 100 (droite) et 101 (gauche) - Les niveaux esquissés et détaillés surgissent tant dans les modèles CAO que dans les dessins à main levée.	199
Fig. 103 - Va et vient chronologique entre les niveaux «esquissés» et «détaillés» des externalisations.	200
Fig. 104 (gauche) et 105 (droite) - Les deux lectures du tableau croisé révèlent les répartitions détaillé/esquissé au sein des stades formels et conceptuels des projets.	200
Fig. 106 - Première phase du scénario global : conceptualisation et esquisse du projet. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.	202
Fig. 107 (haut), 108 (centre) et 109 (bas) - Les représentations formelles, esquissées et globales de la première phase de conceptualisation et esquisse du projet.	204
Fig. 110 - Un formalisme coloré et photo réaliste pendant la revue de conception ; visuellement blanc pour la conceptualisation du projet.	205
Fig. 111 - Prégnance des objets médiateurs tri-dimensionnels en conception industrielle et faible proportion d'annotations. [perspect] = perspective ; [elev] = élévation.	206
Fig. 112 (haut) et 113 (bas) - Critères de sélection pour les objets médiateurs (outils et représentations).	207
Fig. 114 (haut) et 115 (bas) - Polyvalence des perspectives et élévations.	208

Fig. 116 - Niveaux d'abstraction distinctement soutenus par les différents types d'externalisations.	209
Fig. 117 - Qualités opératoires des différents objets médiateurs chez PRO. [commu] = communication ; [rapidité exé] = rapidité exécution.	209
Fig. 118 (gauche - PRO) et 119 (droite) - Efficacité du dessin à soutenir l'aspect global du projet.	211
Fig. 120 - Expression libre du dessin sur structure «sécuritaire» du fond de plan imprimé et «fausse perspective» (un trait tiré à la verticale développe le vue du haut en une vue tri-dimensionnelle).	211
Fig. 121 - La multitude des «sous-outils» du dessin le rendent polyvalent et flexible (données issues de PRO).	212
Fig. 122 (droite) et 123 (gauche) - Prégnance et importance des traits cristallisés pour la matérialisation de l'intention (chez PRO).	213
Fig. 124 et 125 - La sélection et désignation graphique via la cristallisation.	213
Fig. 126 - Un fond de plan imprimé plusieurs fois et quelques coups de marqueur suffisent à cristalliser puis évaluer plusieurs propositions formelles et/ou techniques.	213
Fig. 127 - Transfert d'une représentation à une autre et cristallisation via hachures.	214
Fig. 128 - Une vue 3D imprimée, illisible et inutilisée.	216
Fig. 129 - La ligne de raccord et la problématique du passage de formes.	217
Fig. 130 - Un passage de forme complexe entre sphère et parallélépipède.	218
Fig. 131 - Evolution d'un concept de coin jeu (étude Tragere) au travers d'une conversation réflexive avec la représentation. Le cylindre et la sphère apparaissent à plusieurs reprises, pour finalement se concrétiser au sein de la solution finale.	219
Fig. 132 - Cycles «f-r-c» : traits successivement (de gauche à droite) flous, répétés puis cristallisés.	220
Fig. 133 - Un exemple de conception par conversation réflexive.	220
Fig. 134 - Une séquence de re-représentation en conception par externalisation.	222
Fig. 135, 136 et 137 - La matérialisation d'un profil directeur, qui va se développer pour se retrouver quasi à l'identique à la fin du projet.	223
Fig. 138 - Le croquis d'un concept, à peine esquissé.	223
Fig. 139 - La matérialisation du concept via la CAO et son évolution.	224
Fig. 140 - La recherche d'un concept sans expression graphique particulière.	224
Fig. 141 - Le déclic et le logo - la conversation mène à une cristallisation : la boucle de la conceptualisation s'achève.	225
Fig. 142 - Panorama retravaillé des profils de designers industriels.	225
Fig. 143 - Un modèle neuf pour deux types de conceptions préliminaires.	226
Fig. 144 - Les multi-dimensions du papier en tant que support : le designer arrondi légèrement une feuille de papier et la positionne verticalement pour évaluer un galbe.	227
Fig. 145 - Allers-retours entre types d'externalisations. En abscisse, les actions pour lesquelles ces valeurs ont pu être codées.	228
Fig. 146 - Evolution chronologique des transformations latérales et verticales.	229
Fig. 147 (PRO) et 148 - Transformations latérales et verticales en relation avec l'objet médiateur.	229
Fig. 149 (haut) et 150 (bas) - Types et causes des shifts.	231
Fig. 151 - Types de shifts et causes des shifts réintégrés dans leur contexte d'apparition.	232
Fig. 152 à 155 - Comparaison des causes pour des shifts apparaissant dans plus d'un contexte étudié, en proportions.	232
Fig. 156 - Lien entre type de représentation et mode de pensée.	233
Fig. 157 (gauche) et 158 (droite) - % de modifications au sein de chaque type de représentation et mode de pensée en mode «modifications».	234
Fig. 159 - L'évolution du projet au travers de deux représentations du même type.	234
Fig. 160 - Transfert fidèle entre support papier et numérique.	235
Fig. 161 - L'évolution du contenu entre dessin et modélisation esquissée.	235
Fig. 162 - Un modèle esquissé est plus que la somme de ses deux croquis constitutifs.	235
Fig. 163 - Causes des shifts de page en conceptualisation dessinée.	237
Fig. 164 - Génération d'une variante à partir d'une transformation verticale et de la gestion particulière des calques.	239
Fig. 165 - Seconde phase du scénario global : le travail collaboratif sur l'essence communiquée. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.	241
Fig. 166 - Différents objets médiateurs en support de modalités collaboratives (chez PRO).	242
Fig. 167 (haut) et 168 (bas) - Formalismes visuels et collaboration chez PRO.	243
Fig. 169 (gauche) et 170 (droite) - Deux exemples de croquis «viral», dessiné au dos d'une enveloppe, très rapidement, au gré de la collaboration en cours et la cristallisation d'attention.	245
Fig. 171 (gauche) et 172 (droite) - Catachrèse.	245
Fig. 173 - La surcharge visuelle.	246
Fig. 174 - L'annotation pense-bête fonctionnelle et technique.	246
Fig. 175 - Annotation graphique de recherche formelle.	247
Fig. 176 - Annotation d'annonce.	247
Fig. 177 - Schéma de principe.	248
Fig. 178 - Taggings, désignés par le marqueur 31.4.	248
Fig. 179 - La visualisation numérique support aux gestes : le designer explique comment une pièce s'emboîte dans une autre.	249
Fig. 180 (gauche) et 181 (droite) - Surbrillance, désignation et profil fantôme en CAO.	249
Fig. 182 (gauche) et 183 (droite) - Réintroduction dans un environnement pré-existant et difficulté de désignation en collaboration.	250
Fig. 184 (gauche) et 185 (droite) - La surbrillance intempestive et le «bruit visuel».	250
Fig. 186 - Multi-modalité dans l'usage des objets médiateurs et importance de la désignation en revue de conception collaborative.	252
Fig. 187 - Nécessité d'une multi-modalité en conception.	253
Fig. 188 - L'expression numérique de l'essence synthétique et la mise en couleurs.	255

Fig. 189 (gauche) et 190 (droite) - Impact du formalisme visuel du prototype.	257
Fig. 191 - La troisième phase du scénario global : le transfert et l'appropriation d'une essence qui devient synthétique.	257
Fig. 192 - Un schéma cinématique avec ses rotules.	262
Fig. 193 (droite) et 194 (gauche) - Mode de récupération des traits et qualité de l'appropriation chez les 5 designers D1 ( en pourcent d'actions, Tragere).	266
Fig. 195 (gauche) et 196 (droite) - Perception affirmée de la globalité et type de récupération en fonction du type de représentation (chez Tragere).	266
Fig. 197 et 198 - Résultats du tableau croisé : lien entre type de récupération et type de courbe (chez Tragere).	267
Fig. 199 - Récupération des différents types de traits (chez Tragere).	267
Fig. 200 - Qualité d'appropriation des courbes principales (chez Tragere).	268
Fig. 201 - Esquisse dessinée et zone de non définition.	270
Fig. 202 - Evolution chronologique des niveaux d'abstraction. En abscisse, les actions pour lesquelles ces valeurs ont pu être codées.	271
Fig. 203 - Quatrième et dernière phase du scénario global : modifications et itérations de l'essence technique. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.	272
Fig. 204 et 205 - Dessins techniques rapidement exécutés ; usage de la couleur.	273
Fig. 206 - Résolution d'un noeud technique.	274
Fig. 207 et 208 - Dessins techniques détaillés, en toute fin de conception préliminaire.	274
Fig. 209 - Etat des lieux des questions de recherche. Dans la colonne de gauche, les différentes questions de recherche ; dans celle de droite, les principaux résultats résumés.	279
Fig. 210 - Résumé des caractéristiques des objets médiateurs à conserver, augmenter, modifier, rejeter. En italique, les caractéristiques pour lesquelles les potentiels d'un des deux objets médiateurs compensent les limitations du second.	281
Fig. 211 (haut) et 212 (bas) - Absence de symboles, prégnance des formes quelconques et des cycles de traits en conception industrielle. [Forme qcq] = forme quelconque ; [f-c] = traits flous puis cristallisés ; [cristall] = cristallisés ; [alpha num] = alpha-numérique.	285
Fig. 213 (gauche) et 214 (droite) - Force sémantique d'un simple trait flou en design industriel.	286
Fig. 215 (droite) et 216 (gauche) - Prégnance des courbes principales dans les structures du dessin et dans l'aspect global de la représentation. [Prim. de base] = primitive de base.	287
Fig. 217 - Structure graphique des courbes principales. [f] = traits flous ; [r] = traits répétés ; [c] = traits cristallisés ; [x-x] = cycles de traits.	287
Fig. 218 - Cycles de traits en successions «lentes», action par action, chez Tragere.	288
Fig. 219 - Cycles de traits soutenant une recherche conceptuelle par conversation réflexive.	289
Fig. 220 - Cycles de traits et cycles de formes pour une représentation experte de la perspective axonométrique.	289
Fig. 221 - Cycles de traits flous-répétés puis, dans un second temps, cristallisés pour la re-représentation d'un objet connu.	290
Fig. 222 - Une large proportions de traits restent ouverts et nécessitent donc une étape de nettoyage et «rejointoyage».	291
Fig. 223 (gauche) et 224 (droite) - Incomplétude des représentations et lien entre niveau d'abstraction et degré de complétude. [FdPlan] = fond de plan ; [Persp] = perspective.	295
Fig. 225 - Complétude des dessins globaux.	296
Fig. 226 - Ligne de connexion entre courbes principales et caractère complet de la représentation (données récoltées sur toutes les études). [Courbe sec.] = courbe secondaire ; [Courbe Princ.] = courbe principale.	296
Fig. 227 - Rappel du scénario global d'usage des objets médiateurs, avec ses nécessités d'assistance (encadrés rouges).	300
Fig. 228 - Schéma global du fonctionnement du système d'assistance.	301
Fig. 229 (gauche) et 230 (droite) - Introduction d'un fond de plan et définition, au stylo, des primitives de structure (2D ou 3D).	302
Fig. 231 (gauche) et 232 (droite) - Croquis libre, traits non beautifiés.	304
Fig. 233 (gauche), 234 (centre) et 235 (droite) - Positionnement des calques dans l'espace pour la construction interactive de la troisième dimension ; lignes de force et feutre bleu.	306
Fig. 236 (gauche), 237 (centre) et 238 (droite) - Modification du modèle esquissé ; gestion de la non matière et assignation d'un feutre rouge à cette phase de modification.	308
Fig. 239 (gauche) et 240 (droite) - Modèle esquissé généré et manipulation par des poignées mobilisables.	308
Fig. 241 - Gestion des variantes et des logs en arbre pour la capture du design rationale.	310
Fig. 242 (gauche) et 243 (droite) - Accroche de l'annotation sur un objet 3D et création de labels. Figures extraites de (Chandelle, 2011).	311
Fig. 244 (gauche) et 245 (droite) - Le widget de Thu pour l'interface SketSha du LUCID ; le widget de Chandelle pour le prototype d'annotation de SketSha 3D (LUCID). Figures extraites de (Chandelle, 2011).	312
Fig. 246 - Check-list des modèles opérationnels pour la mise au point d'une assistance.	314



# Chapitre 1 - Contexte, problématique, objectifs et intérêts de la recherche

L'objectif de ce projet de recherche personnel est de jeter les bases fondamentales d'un système de soutien à la conception préliminaire en design industriel.

Ce premier chapitre s'attèle à :

- présenter le contexte particulier dans lesquels nous évoluons, à savoir les phases préliminaires d'une pratique experte de la conception : le design industriel ;
- résumer les principaux besoins qui apparaissent au sein de ce contexte particulier et, en conséquence, spécifier la problématique traitée dans cette thèse ;
- décrire les moyens mis en oeuvre pour atteindre nos objectifs.

## 1. Contexte et problématique la recherche

Soutenir, optimiser, augmenter un processus de conception, quel qu'il soit, s'accompagne de deux pré-requis : d'abord comprendre en profondeur les complexités du domaine cible, ensuite évaluer quels sont les aspects de l'activité qui pourraient vraiment bénéficier de certains supports. C'est alors seulement que la recherche en ingénierie de conception est capable et pertinente.

Mais, au préalable, se pose aussi la question du *pourquoi*. Pourquoi traitons-nous ici le design industriel, au lieu de tout autre domaine ? Pourquoi la phase de conception préliminaire ? Pourquoi accorde-t-on à cet épisode, si court au sein du processus, un rôle si crucial ? Cette présentation du contexte de la recherche vise à spécifier au lecteur les balises contextuelles et identifier ainsi les catalyseurs intrinsèques de la thèse.

### 1.1. Le design industriel : enjeux et défis

Le design vu comme *l'acte de concevoir* fait partie de ces concepts dont on ne peut précisément tracer l'origine. L'étude et la compréhension du domaine n'a pourtant pas encore atteint, aujourd'hui, toute sa maturité : il n'est apparenté que depuis peu à des structures institutionnelles et économiques claires ; sa réputation de « vernis esthétique » rapporté aux objets du quotidien est tenace et ne rend pas justice à tous les

aspects qu'il recouvre. Même pour sa définition, aucune proposition ne fait réellement l'unanimité.

Le qualificatif industriel apparaît au milieu du 19ème siècle. La révolution industrielle et la production en série excluent les artisans des procédés de fabrication, pourtant jusqu'alors principaux fournisseurs d'objets usuels. La nécessité de ré-instaurer un équilibre entre l'art (de la conception) et l'industrie se fera cependant très vite sentir et, avec elle, le besoin d'un nouveau domaine de compétences élargies : le design industriel. Il faudra attendre 1969 pour qu'une première définition officielle voie le jour, proposée par le ICSID (International Council of Societies of Industrial Design) :

*« Le design industriel est une activité créatrice, qui consiste à déterminer les propriétés formelles des objets que l'on veut produire par l'industrie. Les qualités formelles des objets ne reposent pas seulement sur les apparences extérieures, mais principalement sur les relations de structure et de fonction qui font d'un système d'objets une unité cohérente aussi bien du point de vue du producteur que de celui de l'utilisateur. Le design industriel tend à prendre en compte la totalité des aspects de l'environnement humain qui est déterminé par la production industrielle ».* (issu de Laurent, 1999, page 179).

Cette définition a le mérite de rendre au design sa place au sein des activités complexes de conception. Le design industriel tel qu'il est perçu dans notre société fait encore en effet trop souvent référence à des notions superficielles d'apparence, parfois de luxe, alors qu'il est en réalité beaucoup plus complexe dans son essence. Le nombre de contraintes qu'un professionnel du design, ou *designer*, doit prendre en compte est sans cesse croissant, surtout depuis l'avènement de la globalisation, de la répartition des compétences et des considérations environnementales, économiques et sociétales du développement durable. Le métier est exigeant, ses facettes sont nombreuses : le designer doit souvent, à lui seul, incarner de multiples compétences, depuis la redéfinition des besoins et la mise en oeuvre d'une créativité personnelle, jusqu'au management de tâches collaboratives ou à la gestion de technologies de pointe. Le design industriel est donc, dans son essence, une activité multi-disciplinaire et multi-fonctionnelle.

Il recouvre également de larges secteurs, tels que l'industrie lourde, les objets du quotidien, l'électronique, le textile ou encore le design de services, le packaging. Sous la dénomination de «designer» se cache ainsi une multitude de métiers qui déploient techniques et compétences propres, aussi diversifiées que le thermoformage ou la découpe du cuir. Ces spécialisations appellent inmanquablement de multiples collaborations avec d'autres corps de métier (architectes, ingénieurs, techniciens ou ouvriers, en fonction du domaine et de l'état d'avancement du projet), si bien que le design d'un produit ne peut plus aujourd'hui être considéré comme un acte solitaire de conception. La profession est, de ce fait, en constante évolution et le champ des complexités qu'elle recouvre ne cesse de s'élargir. Ce métier maintient des frontières peu précises tout en fusionnant une diversité d'aspects et tout en conservant une série de dénominateurs communs peu examinés (la gestion de connaissances et des

contraintes, la définition des compétences liées à la conception ou encore le processus d'externalisation des idées). Ce domaine constitue donc à lui seul un sujet de recherche complet et fascinant.

En parallèle il devient également l'enjeu d'une politique stratégique globale, surtout en Europe. On voit en effet apparaître aujourd'hui la notion de «*good design*» :

*« Good design is sustainable design. It results in objects, systems or services that work aesthetically, functionally and commercially, improving people's lives and making the smallest possible impact on the planet. It is a process : good design is a verb, not just a noun. It is a sequence of steps that defines problems, discovers solutions and makes them real. It is a process joining creativity and innovation [...] and delivering value : good design is a quantifiable benefit, not a cost. Its value can be measured economically, socially and environmentally »* (United Kingdom Design Council, 2008).

Cette récente définition révèle trois infléchissements : (i) le design est depuis peu une des chevilles ouvrières du développement durable ; (ii) il est réintégré officiellement comme un processus à part entière et non plus seulement comme un vernis apposé à un objet quelconque et (iii) il constitue un nouvel enjeu économique.

La créativité et l'innovation sous toutes leurs formes, on le sait, sont les clés de voûte d'une économie prospère et compétitive (Howard, Culley, & Dekoninck, 2008). Si pour beaucoup la créativité est vue comme la génération d'idées nouvelles et l'innovation comme l'exploitation réussie de ces idées, le design reste le lien indispensable entre cette créativité et l'innovation (Cox, 2005) : il est l'outil, l'apport, l'inducteur au service de l'innovation qui transforme la recherche et la créativité en produits commercialement viables, plus proches des besoins et réalités des consommateurs. Le design fait donc le pont entre la science, la technologie et l'utilisateur final en mettant ce dernier au centre du processus.

Le design industriel constitue de ce fait un enjeu de premier ordre et devient pour la plupart des pays un axe prioritaire de recherche et d'enseignement. Le secteur pèse annuellement pas moins de 650 milliards d'euros rien que pour l'Europe et sa croissance est exponentielle. Certains pays tels que la Finlande exigent même que 50 % des entreprises utilisent les services professionnels de designers et les chiffres leur donnent raison. Le rapport 2009 de la Commission Européenne est à ce sujet sans appel : à un niveau macro-économique, une forte corrélation (positive) existe entre une politique d'entreprise «pro-design» et le niveau national de compétitivité (European Commission, 2009).

Mais au delà de ce tableau idyllique, cette même commission fait aussi état des barrières qui font encore obstacle au complet épanouissement de la profession. Ces barrières incluent des programmes de recherche européens trop frileux, un enseignement inégal et globalement pauvre, des étudiants en nombre suffisant mais dont les compétences restent sur certains points trop faibles. C'est le cas par exemple de la gestion de projet, du management d'équipes multi-disciplinaires ou encore lors de l'utilisation professionnelle des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO).

Le design industriel, en conclusion, incarne toutes les qualités d'un sujet de recherche prometteur :

- il est un processus en plus d'être un produit et est donc susceptible d'être analysé, modélisé pour être ensuite amélioré, optimisé, augmenté ;
- il présente des complexités similaires à n'importe quel domaine de conception mais qui lui sont propres et son étude et sa théorisation manquent de maturité, ce qui ouvre la porte à de nombreuses questions de recherche ;
- il est capital pour le développement prospère des entreprises. Les applications de son étude fondamentale se trouvent donc dans ses multiples applications et retombées économiques ;
- il devient un axe prioritaire de recherche et développement en Europe.

### 1.2. La place de la conception préliminaire en ingénierie de la conception et de la Conception Assistée par Ordinateur en design industriel

La recherche en *design engineering* (ou ingénierie de la conception) tente de mettre la plus-value de l'ingénierie en général au service du domaine particulier de la conception. L'objectif est de modéliser la conception, de l'outiller (souvent avec la puissance logicielle), afin d'en faciliter, d'en optimiser les aspects les plus problématiques. Parmi ces aspects, les premières phases du processus de conception, ou phases *préliminaires*<sup>1</sup>, sont examinées. Les frontières de ces phases préliminaires sont floues : elles comprennent en général la réception du cahier des charges (qui expose globalement le problème à résoudre et/ou l'objectif à atteindre) qui peut être assortie (et parfois substituée) d'une phase de recherche d'inspiration (individuelle ou collective, via des techniques telles que le brainstorming) ; une phase d'analyse du problème qui s'accompagne généralement d'un recueil d'informations, suivie d'une phase d'expression des idées et des concepts, créatifs ou non, qui peut se matérialiser sur de nombreux et différents supports. Il est à noter que le processus n'est pas linéaire mais bien itératif et que les contenus évoluent dans le temps, en fonction de ces itérations (Howard, Culley et al., 2008).

Tous les experts du domaine (chercheurs mais aussi praticiens) conviennent de l'importance capitale de ces phases de définition des concepts, généralement courtes : les libertés à ce stade sont encore importantes, les principaux choix qui sont effectués sont cruciaux et façonnent l'entièreté du projet. Ehrlenspiel a prouvé que jusqu'à 70 % des coûts du projet sont déterminés par des décisions prises durant les 30 premiers pour-cent du processus de conception (Ehrlenspiel, 1995, cité par (Schütze, Sachse, & Römer, 2003)). Ces choix peuvent être judicieux et géniaux, tout autant que catastrophiques : la conception préliminaire peut en effet cristalliser déjà de grandes erreurs, techniques ou stratégiques, ou plus simplement ne pas répondre aux attentes de la clientèle, ne pas convenir aux moyens de la réalisation. Des modifications

---

<sup>1</sup> Certains auteurs parlent de «pré-conception». Nous n'utiliserons pas ce terme ici, car il laisse à penser que cette phase du processus ne fait pas réellement partie de la conception, mais la devance.



ultérieures sont possibles, mais sont d'autant plus coûteuses qu'elles apparaissent tardivement dans le processus, les erreurs se révélant généralement à un stade avancé de la matérialisation du projet. La figure 1 souligne de plus que les principaux efforts de conception se concentrent trop sur les phases de réalisation du projet, trop longtemps après que les décisions aient été prises et les erreurs, commises.

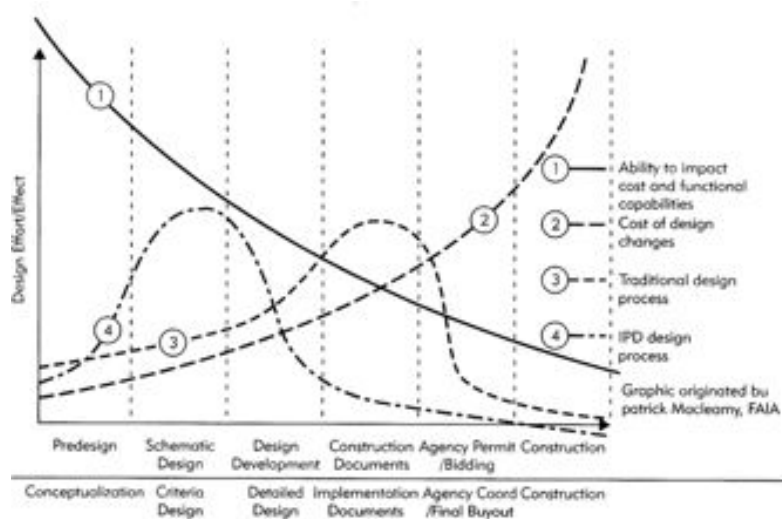


Fig. 1 - L'évolution de l'effort de conception en fonction du temps qui passe - Source : *Building Information Modeling : A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers*, (Smith & Tardif, 2009, p.104).

Cette partie du processus, si cruciale, ne s'accompagne pourtant pas d'un cadre descriptif ou prescriptif clair et encore moins de méthodes ou d'outils d'assistance universels. La littérature à son sujet ne fixe pas non plus précisément ses variables : la conception préliminaire peut prendre plus ou moins de temps, intégrer des expertises diverses ou au contraire être la compétence d'une seule personne, se contenter des données du domaine spécifique ou, au contraire, puiser son essence dans des univers très différents. On peut cependant souligner deux certitudes : l'objectif poursuivi par le concepteur durant ces phases est généralement de choisir, parmi les variantes générées, un concept ou groupe de concepts qui pourrait éventuellement répondre au problème posé ; et cette conception préliminaire s'achève lorsque commence la phase dite de mise en détails et production<sup>2</sup>.

Comme son nom l'indique, cette dernière vise à spécifier les moindres détails du projet et à réduire au maximum les incertitudes de manière à rendre le projet constructible, réalisable. La distinction entre phase préliminaire et phase de mise en production n'est cependant pas nette. Un consensus semble accorder *aux supports de l'externalisation* du projet un rôle de délimitation : la conception préliminaire ferait

<sup>2</sup> Certains auteurs parlent de phase de «spécification» au lieu de phase de «mise en détail». Nous n'utiliserons pas cette expression ici car elle peut porter à confusion : pour d'autres domaines, par exemple la conception de logiciels en informatique, la phase de «spécifications» est en effet une des toutes premières phases du processus.

appel à des outils qui permettent l'expression d'une ambiguïté<sup>3</sup>, nécessaire nous le verrons à la mise en oeuvre d'une idée : esquisses (sur papier ou tout autre support), maquettes (de carton, de résine, ...), mais aussi peinture, sculpture, ... tandis que la mise en détail exploiterait les qualités de précision géométrique du dessin industriel, du prototype ou encore de certains logiciels informatiques.

L'introduction de ces logiciels dès les années 1980 va perturber encore plus les fragiles constats dont il vient d'être question. Au départ outils de Dessin Assisté par Ordinateur, ces softwares se contentent de proposer aux concepteurs une mise en oeuvre numérique et cartésienne de leur projet, le plus souvent en deux dimensions, qui facilite les processus aval de la conception. Ces outils se contentent de remplacer la planche à dessin du dessinateur industriel et n'ont pas d'autres prétentions.

Mais bientôt le terme d'outils de *Conception Assistée par Ordinateur* fait son apparition et avec lui une série de bouleversements pour l'ensemble du processus (Gross, 1999). Ces outils font preuve d'une efficacité sans pareille pour accélérer et optimiser toutes les phases de production, de montage, de définition des détails du projet. Ils permettent aux concepteurs par exemple de soumettre n'importe quel objet géométrique à des évaluateurs qui, grâce à des solveurs rapides, proposent des simulations de comportements sous contraintes. Les concepteurs peuvent également modéliser et optimiser des lignes de production et de montage ; représenter et construire des projets trop complexes pour les techniques traditionnelles du dessin industriel manuel et même pour les compétences humaines de visualisation ; tester rapidement des formes et des assemblages grâce au prototypage rapide ou encore outiller la communication du projet à des collaborateurs, partenaires industriels ou clients.

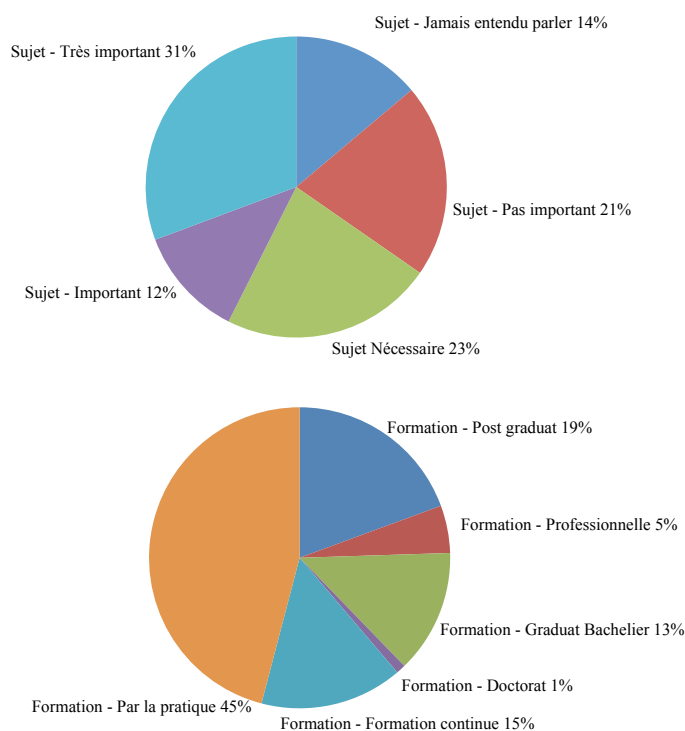
Ces efficacités deviennent rapidement redoutables lorsque les contraintes du marché, les contextes concurrentiel et économique font de ces logiciels des outils indispensables pour tout concepteur désirant mener à bien un projet (Quarante, 2001). Souvent trop complexes à utiliser, les outils de CAO redéfinissent ainsi lentement mais sûrement le paysage de la conception. Il sera fait état plus systématiquement de leurs avantages et limitations dans l'état de l'art, mais nous pouvons déjà résumer ici quelques uns de leurs inconvénients les plus universellement reconnus :

- ces outils influencent à tel point les pratiques que la place laissée aux outils traditionnels et donc, selon les dires de certains, aux phases préliminaires de la conception, ne cesse de s'amoinrir (Schenk, 2007) ;
- le matériel auquel sont généralement associés ces logiciels, avec leurs interfaces dites «WIMP» (Windows - Icons - Menus - Pointing devices), détournent les concepteurs de leurs tâches essentielles de conception et complexifient plusieurs facettes de leurs tâches individuelles. De même, l'usage personnalisé du matériel ne facilite pas le travail collaboratif ;

---

<sup>3</sup> Le terme «ambiguïté» implique deux concepts : les multiples interprétations d'une part et une notion d'imprécision d'autre part (Visser, 2006).

- leur usage au quotidien requiert une pratique longue et assidue (qui reste le principal vecteur de la formation, figure 2), redéfinissant les expertises et compétences des concepteurs. Ces derniers, lorsqu'ils se sont appropriés un des logiciels, rechignent à tester d'autres possibilités.



*Fig. 2 - Les outils de CAO sont au moins «nécessaires» pour 66 % des designers interrogés et paradoxalement encore 45 % d'entre eux sont autodidactes. Source : Edti european design training incubator - Internet Surveys - sept. 2009*

Plus interpellant encore, les outils de CAO, en réduisant le temps attribué à la conception préliminaire (et réduisant de ce fait le temps laissé à la maturation des idées, auquel il est accordé une grande importance surtout dans un processus créatif - figure 3), contribueraient à des projets de moindre qualité, pour lesquels moins de variantes sont développées et moins de solutions envisagées (Cham & Yang, 2005).

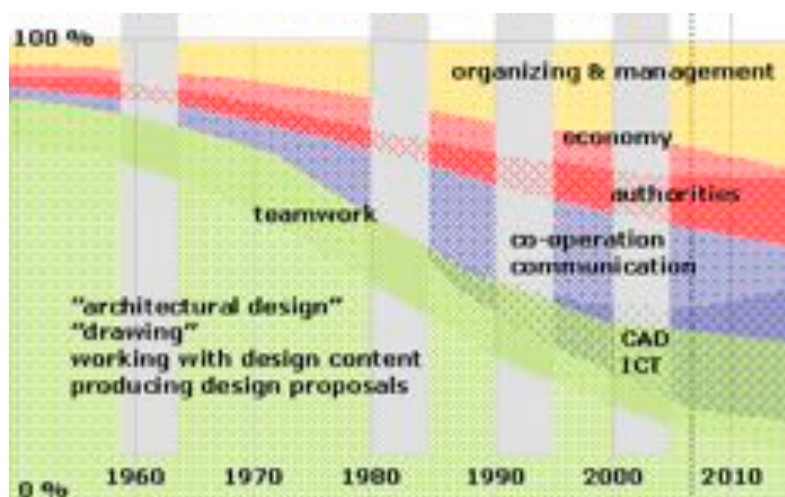


Fig. 3 - Réduction du temps accordé aux phases conceptuelles esquissées - «Hypothetical sketches and fundamental design's future» – Hannu Penntilä, Helsinki University of Technology (2010).

Et pourtant, malgré ces limitations et inadaptations, force est de constater que ces outils sont intégrés aux pratiques quotidiennes des concepteurs ! Nous verrons comment le praticien, faute de mieux, s'est adapté : il associe aux indiscutables avantages du dessin les potentiels (en gestation) des outils de CAO. Les contextes professionnels ont évolué (peut-être trop vite) et avec eux, conjointement, les usages.

La CAO, avec les multiples paradoxes qu'elle provoque et développe, laisse donc le chercheur devant un véritable défi : il doit considérer les avantages et inconvénients qu'elle engendre, faire en sorte de rendre au «C» de la CAO son sens premier et apporter ainsi à la phase de conception préliminaire le soutien logiciel efficace qu'elle mérite.

## 2. Proposition-cadre

Les outils de Conception Assistée par Ordinateur actuels sont donc puissants mais ne soutiennent pas efficacement les phases préliminaires de la conception. Leurs interfaces et modalités d'usage dévient leurs utilisateurs de leurs tâches prioritaires, et ce quelle que soit la phase du processus. Les outils plus «traditionnels» de conception tels que le dessin à main levée ne répondent par ailleurs plus entièrement aux besoins contemporains des concepteurs mais conservent encore, tant bien que mal, leur potentiel de soutien aux phases d'idéation. L'*articulation naissante* entre les deux types d'outils souffre d'un manque de structuration et d'intégration aux processus : les utilisateurs évoluent par essais-erreurs, de façon opportuniste, en attendant que des principes d'articulation neufs soient définis pour mieux les guider dans l'usage des leurs objets médiateurs.

Cette problématique n'est pas neuve et depuis bientôt une trentaine d'années les chercheurs actifs en design engineering, en computer graphics ou en psychologie

cognitive génèrent des résultats très intéressants en termes de méthodes de modélisation, prototypes logiciels proposant des modalités neuves d'interaction, modèles de l'activité, méthodes de travail etc. Une frontière imperméable semble pourtant exister entre les univers de la recherche et de la pratique, surtout en design industriel. Indépendamment de la vingtaine d'années généralement requise pour un transfert entre les deux mondes, il nous faut reconnaître que très peu de résultats sont appliqués avec succès aux pratiques quotidiennes et à l'enseignement. Alors que le design fait le pont entre la science, la technologie et l'utilisateur final, il semblerait qu'un pont manque entre le design et la recherche en conception (Achten, Dorst, Stappers, & de Vries, 2005).

Si les communautés de l'ingénierie, de l'informatique et de la psychologie ne sont que difficilement parvenues, séparément, à apprivoiser les praticiens, qu'en est-il de leur association ?

Notre proposition est de composer, à partir des trois disciplines, un projet de recherche original qui tire parti :

- de la valeur-ajoutée que peut apporter, en terme de puissance logicielle, l'ingénierie de conception à la conception préliminaire ;
- des nouvelles formes d'interaction proposées par l'imagerie informatique qui permettent, en respectant certaines conditions, de dépasser les limitations des interfaces et interactions homme-machine actuelles ;
- des méthodes dédiées de la psychologie et de l'ergonomie cognitive pour l'analyse et la compréhension profonde des besoins et des tâches réels des concepteurs.

Cette proposition-cadre tire également avantage de *cet instant clé dans l'articulation des usages* et des pratiques, vivier fascinant de données qui ne demandent qu'à être exploitées. En effet, les outils de CAO, sans être parfaitement adaptés aux tâches de conception, sont pourtant adoptés par les concepteurs et toujours en complément des outils plus traditionnels. Si la modélisation 2D ou 3D (informatisée) est considérée aujourd'hui comme indispensable par 100 % des designers interrogés, il est en effet intéressant de constater qu'il en est encore de même, en parallèle, pour le dessin à main levée ou «papier/crayon» (Garner, 2000 ; Basa & Senyapili, 2005; Edti, 2009). Le design reste plus que jamais «*l'alliance du projet, le dessein et de son expression graphique, le dessin*» (Laurent, 1999, p. 5, avant propos), mais le temps alloué à cette externalisation ne cesse de diminuer (Jonson, 2005).

Nous nous trouvons donc aujourd'hui à un stade décisif de la recherche en conception : *les deux familles d'outils cohabitent et s'articulent*, l'une s'intégrant de plus en plus aux pratiques, l'autre résistant tant bien que mal à l'envahisseur, sans pour autant qu'une solution intégrée n'associe leurs potentiels respectifs. En partant ainsi des pratiques actuelles du terrain, nous tentons de comprendre ces mécanismes d'articulation et d'éviter les aléas d'une approche trop techno-centrée. Cette dernière peut parfois générer une solution originale et même innovante, un modèle élégant

mais inadapté, qui ne répond pas aux problèmes réellement vécus par l'utilisateur final vers qui sont sensés tendre tous nos efforts (figure 4). Trop souvent les recherches portant sur les processus de conception, s'ils partent d'une base empirique, sautent en effet directement de la description à la prescription (de modèles, d'outils, de méthodes), sans s'attacher à la compréhension profonde des phénomènes observés (Dorst, 2008).

Selon nous, une approche au contraire plus «*bottom-up*» (qui part des demandes des utilisateurs mais aussi et surtout de leurs besoins révélés par une étude fine de leur activité) garantit à notre objectif principal, à savoir la conceptualisation d'un système intégré et efficace de soutien aux phases de conception préliminaire en design industriel, d'être au moins *capable et pertinent*. C'est-à-dire à même de savoir exactement à quel moment, pourquoi et comment soutenir un aspect particulier du processus. Ce n'est qu'à ces conditions que nous pourrions correctement outiller la conception préliminaire, avec l'espoir que la technologie proposée présente des codes qui soient cognitivement compatibles avec les pratiques globales de la conception (Caroly, 2007).

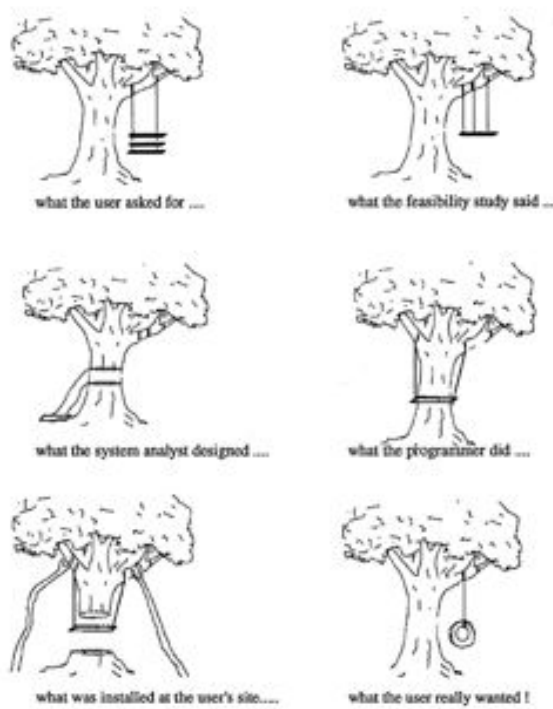


Fig. 4 - Le risque d'une approche négligeant les besoins réels des utilisateurs. Emprunté à (Robinson & Bannon, 1991).

### 3. Etude préliminaire: réduction du champ d'exploration, questions de recherche et moyens

Une première exploration du domaine du design industriel sous forme de 39 entretiens nous a révélé l'extrême variété des profils et sous-catégories du métier et nous a permis de réduire notre champ d'exploration. Ces conversations, menées sur base des techniques des entretiens semi-directifs<sup>4</sup>, ont révélé certaines modalités d'usage des outils ainsi que les problèmes redondants vécus par les praticiens (27 experts, 12 juniors ; 33 hommes, 6 femmes ; secteurs : produits du quotidien, mobilier, textile, luminaire, médical, sportif, technologique, naval, publicité sur lieu de vente, (info) graphisme, esthétique et hygiène corporelle, art de la table et décoration, ...). Cette étude préliminaire poursuit plusieurs objectifs :

- se familiariser avec le monde du design industriel, plus particulièrement avec le travail des concepteurs en phase préliminaire de conception, le contexte dans lequel ce travail s'opère et les outils utilisés ;
- poser un pré-diagnostic quant aux modes opératoires d'utilisation du ou des outils de travail : leurs avantages, leurs limitations en terme de soutien efficace des phases de conception ; leur modulation en fonction des éléments du contexte ;
- dresser un modèle des profils des designers industriels afin de sélectionner le terrain pour la suite des recherches ;
- affiner les questions de recherche qui recentrent la suite des recherches sur les outils dits «médiateurs» (CAO ; outils traditionnels) et leur évolution, en lien avec le contexte.

Si cette première exploration est présentée à ce stade, c'est parce qu'elle a joué un rôle réellement structurant pour l'ensemble du projet de recherche et qu'elle justifie pour beaucoup les objectifs que nous nous sommes fixés par la suite.

Ce premier pas, nécessaire à la réduction du champ de l'étude et à la fixation de certaines variables (dont on trouvera les détails dans (Elsen, Darses, & Leclercq, 2010)), a tout d'abord confirmé certains points révélés par l'examen du contexte de la recherche, tels que l'importance croissante que prennent les outils de CAO au sein du processus de conception, en parallèle de la prégnance de la pratique du dessin, surtout dans un environnement de travail collaboratif (33 sujets déclarent dessiner

---

<sup>4</sup> Le lecteur intéressé pourra trouver en Annexe 1 la grille d'entretien, ainsi que les détails portant sur l'échantillon et la méthodologie.

fréquemment - dont 24 principalement en collaboration<sup>5</sup>, contre 6 qui ne dessinent plus du tout, figure 5).

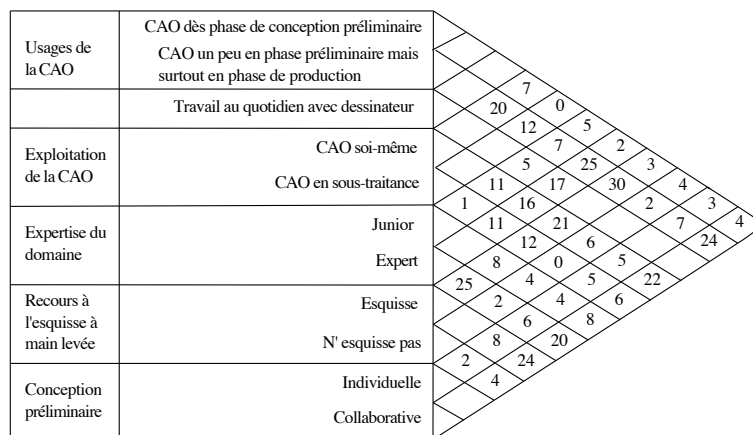


Fig. 5 - Comptages préliminaires et descriptifs des pratiques en design industriel

Plusieurs autres indices ont également été mis en lumière à la suite de ces entretiens :

- le temps consacré à la pratique du dessin à main levée diminue bel et bien et avec lui, comme nous le confirment les designers, le temps associé à ce qu'ils appellent la *conception préliminaire* ;
- sur les 39 personnes interrogées, 32 utilisent fréquemment les outils de CAO (et les représentations générées par la CAO) et ce dès la phase de conception préliminaire. Elles y sont poussées principalement pour des raisons de délais, de contexte concurrentiel et d'attentes de la clientèle. Parmi elles, 20 personnes exploitent elles-même les logiciels, tandis que les 12 autres sous-traitent leur usage à des collègues designers plus expérimentés en CAO, ou à des dessinateurs. Les 7 sujets restants disent même utiliser la CAO de façon intensive, dès les toutes premières minutes du projet et n'en sous-traitent donc pas l'usage (parmi eux, 5 sont des juniors) ;
- l'expertise dans le domaine du design industriel, corrélée ici avec l'ancienneté, semble jouer un rôle dans la relation entretenue avec les outils numériques : 11 des 12 juniors exploitent eux-même les outils, contre 16 des 27 experts ; la proportion des juniors utilisant intensément la CAO dès le début du processus, on l'a vu, est également plus forte, contrairement à l'usage du dessin à main levée où cette fois les experts sont en proportion beaucoup plus importante ;

<sup>5</sup> Nous confirmons au lecteur attentif que certains comptages s'effectuent sur un effectif de 38 sujets et non plus 39. Une des personnes interrogées est en effet professeur dans une école supérieure en design industriel et ne pouvait donc se positionner sur certains sujets liés à une pratique plus entrepreneuriale de l'activité de designer.



- sur les 39 personnes interrogées, 22 ont l'occasion de travailler avec un certain type de collègues, appelés dessinateurs (ou infographistes<sup>6</sup>) et dont la tâche se définit le plus souvent comme la modélisation (3D, généralement) du projet grâce aux outils numériques.

L'examen du verbatim révèle de plus que :

- l'usage du dessin comme soutien d'une communication du projet à la clientèle se fait de plus en plus rare et est en tout cas dépendant de la relation de confiance qui existe entre le designer et son client ;
- la pratique de la conception préliminaire est une activité principalement collaborative ;
- pour 38 des sujets, le processus de conception préliminaire est résolument itératif et fait appel à plus d'un moyen d'externalisation. Les allers-retours entre ces médiums sont nombreux et nourrissent la conceptualisation. La seule personne déclarant le processus linéaire dit cristalliser le produit de son idéation immédiatement sur *«l'écran de son ordinateur»* pour ne plus y toucher ensuite.

Enfin, ces 39 conversations nous ont permis de dresser un premier panorama des profils existants en design industriel (figure 6). Nous constatons que ces profils se distinguent principalement, en plus des types de projets traités, par les relations entretenues avec les différents outils (dessin à main levée, CAO). Nous faisons ici appel à la notion de «conversation réflexive», initialement proposée par Schön et Wiggins lors de l'usage du dessin à main levée (Schön & Wiggins, 1992), en l'étendant parfois aux usages faits de la CAO, afin de traduire au plus près certains indices relevés dans le verbatim.

---

6 Nous n'utiliserons pas le terme d'infographiste dans cette thèse. Il fait en effet trop appel à des notions de graphisme 2D, d'exploitation et de transformation de l'image. Le dessinateur dont il est question ici est plutôt un «modélisateur» du projet, digne successeur du dessinateur industriel du temps des planches à dessin, dont les tâches ont évolué vers la modélisation 3D du projet et la mise en plans de production.

Profil N°	Relation au dessin à main levée	Relation à la CAO	Type de collaboration avec le dessinateur
1 - sous-traitance CAO	* en conception principalement * cycles itératifs * conversation réflexive	* minimale * évaluation - vérification - communication	* conception distribuée * négociation
2 - itérations en conception préliminaire entre outil de CAO et outil dessin	* en conception + production * cycles itératifs * conversation réflexive	* en conception principalement * cycles itératifs * conversation réflexive	* collaboration * co-conception
3 - itérations en conception préliminaire uniquement avec l'outil de CAO	* minimale * dessin pense-bête * cristallisation	* conception + production * cycles itératifs * conversation réflexive	

Fig. 6 - Premier panorama des profils de designers industriels.

### 3.1. Réduction du champ d'exploration et hypothèses

Face à la diversité des compétences perçues rien qu'au sein du domaine élargi du design industriel, nous avons décidé suite à cette étude préliminaire de centrer nos recherches sur le secteur du design de produit, incluant toutes les conceptions d'objets du quotidien, objets industriels ou technologiques. Ce secteur présente en effet le potentiel d'associer, dans sa recherche conceptuelle, des aspects tant formels que techniques. La modélisation numérique 3D, pratique nouvelle qui retient toute notre attention, y tient également une place importante. Le choix de ce secteur nous permet bien entendu de limiter le monde des possibles, mais semble également plus porteur en termes de débouchés pour un système dédié de soutien à la conception préliminaire.

Par ailleurs, la diversité de profils de concepteurs confirme la nécessité de comprendre les mécanismes de l'activité de la conception préliminaire avant de vouloir la soutenir. Si nos recherches évoluent sur un terrain multi-disciplinaire, elles doivent cependant s'ancrer dans l'ingénierie de conception et rester à son service.

En conséquence, dans cette optique, nous analysons l'activité en design industriel à partir des *usages des outils* (usages prescrits mais aussi déviés) et des *traces externes générées durant l'activité* (graphiques ou numériques, mais aussi verbales et gestuelles). Cette approche, que nous appellerons par «les objets médiateurs» (voir section 1.6.2, chapitre deux), nous permet de nous détacher d'une analyse trop spécifique et dichotomique d'un outil en particulier, de ne pas tomber dans une analyse purement cognitive des processus et enfin de conserver une vue d'ensemble indispensable à la conceptualisation de principes innovants pour le soutien à la conception préliminaire.

Respectant la même philosophie, nous faisons le postulat supplémentaire de considérer comme un «*input*» toutes les connaissances préalables au projet (et indispensables au concepteur pour pouvoir réaliser sa tâche), au même titre par exemple que le cahier des charges. Les notions de catalyseurs de l'inspiration, de créativité, de références (personnelles, heuristiques, ou relatives au domaine), ou encore d'analogies feront partie d'un ensemble de données initiales à disposition du sujet et potentiellement exploitées, leur impact sur l'activité étant considéré mais pas recensé ni évalué. Nous n'étudierons donc pas la génération et la manipulation des connaissances, ni la relation qui existe entre les ensemble Connaissances et Concepts (nous renvoyons le lecteur intéressé à (Hatchuel & Weil, 2009)). De même, nous ne jugerons jamais un processus sur base de la *qualité* du produit fini, mais bien plutôt sur base de son efficacité globale.

Enfin, nous ne nous limiterons pas, dans cette thèse, à l'étude du seul designer industriel, acteur *évident* de l'activité, mais l'élargirons à tous les autres acteurs intégrant la conception préliminaire afin de cerner les aspects multi-disciplinaires et collaboratifs des usages des outils durant cette phase. Soulignons ici que l'étude de ces activités multi-disciplinaires ne visera pas à définir un nouveau modèle du travail collaboratif. L'observation des relations homme-homme au travers des usages des outils visera simplement à définir une relation homme-machine respectueuse des pratiques et qui *augmente* les efficacités de ces outils à soutenir une situation collaborative<sup>7</sup>.

### 3.2. Questions de recherche

La problématique, les constats et postulats qui viennent d'être faits structurent la suite de nos recherches et définissent l'ensemble de questions de recherche suivantes :

---

<sup>7</sup> Ce faisant, nous décidons de ne pas discuter des thématiques importantes telles que le sentiment de «co-présence» ; la médiation d'activités collaboratives distantes ou encore la multi-modalité. Nous renvoyons le lecteur intéressé à la thèse de Stéphane Safin, sous presse. Suivant notre volonté de ne pas évaluer les produits de la conception, nous n'étudierons pas non plus la qualité de la collaboration et son impact sur l'artefact. Nous renvoyons le lecteur intéressé vers (Burkhardt, Détienné, Hébert et al ; 2009).

- En quoi consiste aujourd'hui et depuis l'avènement des outils de Conception Assistée par Ordinateur, la notion de conception préliminaire ? Quelle est son évolution et comment les objets médiateurs y sont-ils intégrés ?
- Comment les outils numériques et «traditionnels», mais aussi les représentations qui y sont liées, s'articulent-ils dans leurs usages tout au long du processus de conception préliminaire ? Comment contribuent-ils au processus de conception ? Quels sont leurs impacts et spécificités respectifs ?
- En particulier, quels sont les mécanismes actuels de définition et de passage entre représentations 2D et 3D d'un objet ? Quels sont les contenus significatifs des traces (ou représentations) externes générées ?
- Quels impacts respectifs le contexte du projet (contraintes, délais, type de projet, attentes du client, modalités du travail collaboratif, ...) et les usages des outils peuvent-ils avoir l'un sur l'autre ? Quels impacts la profession naissante de dessinateur-modélisateur a-t-elle sur la pratique du design industriel, en particulier en ce qui concerne la répartition des tâches, les modalités du travail collaboratif, l'usage des outils et l'évolution des compétences ?
- Et, en conséquence, quelles spécificités de la conception préliminaire, ses usages et ses objets médiateurs, faudrait-il conserver, ou au contraire améliorer, augmenter ?

Ces questions couvrent un champ assez varié de thématiques d'étude qui voient leurs abstractions évoluer, conjointement, vers la conceptualisation finale du système de soutien. On passe successivement de l'activité (observée sous un angle général pour en comprendre les évolutions, pour définir les besoins et les pertinences), aux objets médiateurs, unités de base de notre analyse, pour arriver enfin au trait, dénominateur commun des représentations externes générées (figure 7). En pratique, cinq études (en plus des 39 conversations déjà décrites) construisent d'abord une vision générale de l'activité en design industriel et tentent de l'étudier de la façon la plus objective possible, sans préjugés. Trois de ces études menées *in situ* (PRO\_COLLAB, PRO\_DUO et ANOTO), nous permettent également d'analyser plus finement les caractéristiques des objets médiateurs actuels, utilisés dans des contextes réels. ANOTO introduit l'étude du trait, unité de dimensions plus réduites et cette approche microscopique du dessin à main levée est affinée au cours d'une expérimentation en laboratoire (TRAGERE) qui achève la définition des sémantiques et taxonomies. La cinquième et dernière expérimentation, FORMA\_V, en laboratoire elle aussi, nous permet d'approfondir les utilités des représentations externes générées et perçues, ainsi que les modèles qui les sous-tendent. Toutes ces études, sans exception, participent activement à la construction des concepts du système de soutien aux processus. Les moyens mis en oeuvre au travers de toutes ces études sont limités (un interviewer/observateur/organisateur/analyste ; deux caméras vidéo, un enregistreur, un stylo «Anoto®» et une tablette Cintiq comme support du logiciel Tragere® développé au LUCID).

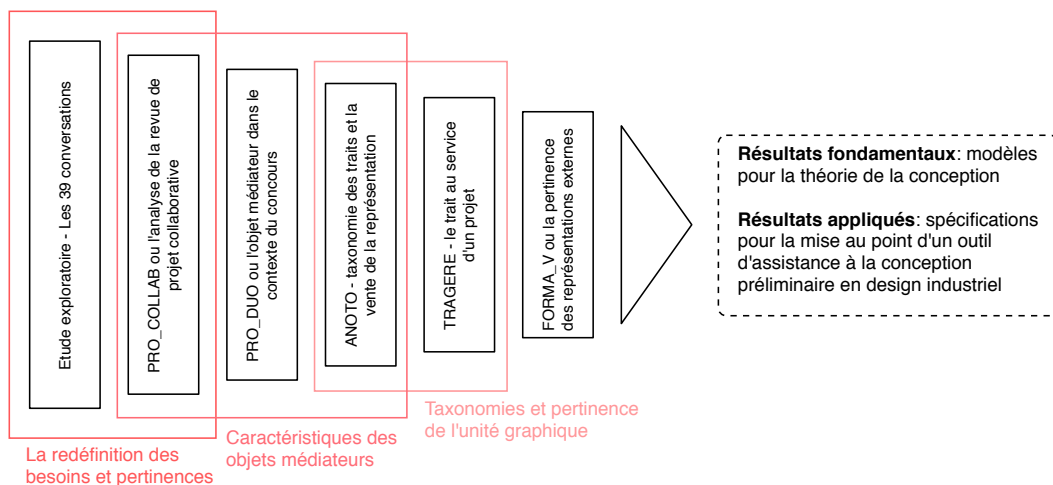


Fig. 7 - Articulation des études et évolution de l'abstraction du projet de recherche.



*Le chapitre deux détaille l'état des connaissances actuelles sur les grandes thématiques qui seront abordées tout au long de cette thèse. En particulier, nous mettons en perspective les différentes théories portant sur les activités expertes de conception, résumons les modalités du travail collaboratif et les théories de l'ergonomie cognitive qui outillent nos études de terrain. Avant d'entrer dans le détail de la littérature portant plus spécifiquement sur le design industriel, nous introduisons le terme d'«objet médiateur», composant central de notre projet de recherche, qui réunit tant les outils traditionnels et numériques que les représentations qui y sont liées.*

*Les spécificités cognitives, sémantiques et fonctionnelles recensées de ces objets (outils et représentations) sont ensuite présentées. Un état des lieux des recherches menées au sein de la communauté des Sketch Based Interfaces for Modeling (SBIM) nous permet par ailleurs de mieux positionner notre approche par les besoins réels pour la définition d'une assistance. Nous clôturons cet état de la littérature par un résumé des constats qu'il a révélés et par une discussion de la traditionnelle approche dichotomique. L'état de l'art nous permet enfin d'affiner nos questions de recherche.*

*Le 3ème chapitre présente les 5 études principales et leur articulation. Les contextes et des sujets, la méthodologie de recueil des données ainsi que les principales spécificités sont présentés à ce stade, sans entrer cependant dans les détails. Nous décrivons ensuite comment les données ont été triées, codées et traitées, qualitativement et quantitativement.*

*Le quatrième chapitre détaille, lui, les principaux résultats. Nous discutons dans un premier temps de la représentativité du panorama de la conception observé. Les principes de conception préliminaire et d'usages de la CAO sont étendus, les concepts de représentations esquissées et dessinées sont proposés. Les résultats issus des différents contextes d'étude sont ensuite résumés en un scénario global de la conception, structuré en quatre phases. Cette structure autorise une discussion comparée des résultats, qui nous semble plus riche qu'une présentation linéaire, d'autant plus qu'elle est rendue possible par la structure intrinsèque de nos grilles de traitement des données. Les inévitables particularités, qui ne tolèrent aucun traitement quantitatif mais qui construisent cependant au même titre notre compréhension des phénomènes, sont présentées de manière plus qualitative. Elles sont parfois remises dans leurs contextes, à l'aide de cadres grisés, afin d'en faciliter la lecture.*

*Au sein de chacune des quatre phases du scénario global, nous développons les usages et qualités respectives des principaux objets médiateurs, exploités individuellement ou collaborativement. Plus précisément, nous abordons :*

- au sein de la phase 1 (conceptualisation et esquisse du projet) : les principes de sélection des objets médiateurs ; deux grands types de conception (conversation réflexive et externalisation d'une image mentale) ; les shifts entre types de représentations et de page.*
- au sein de la phase 2 (travail collaboratif sur l'essence communiquée) : l'essence communiquée et communicable des objets médiateurs ; la variété des représentations ; la multi-modalité des représentations et la capture du design rationnelle.*

- *au sein de la phase 3 (transfert et appropriation) : les modalités collaboratives de transfert ; les phénomènes de transferts et appropriations ; la détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition.*
- *au sein de la phase 4 (modifications et itérations de l'essence technique) : les utilités tardives du dessin à main levée juste avant la phase de mise en détail.*

*Le chapitre quatre clôt l'étude des qualités respectives et complémentaires des objets médiateurs.*

*Le chapitre cinq ouvre la voie à un positionnement plus tranché en faveur du dessin à main levée. Nous repartons des grandes étapes constitutives des SBIM et d'une approche plus spécifique des contenus graphiques du dessin pour définir les premières recommandations en termes de pertinences et temporalités de l'assistance.*

*Le chapitre six poursuit la mise au point du système d'assistance à la conception préliminaire en design industriel. Il ouvre ensuite de plus larges perspectives pour d'autres métiers de la conception, en proposant une check-list opérationnelle de modèles pour l'ingénierie de conception.*

*Le chapitre sept conclut la thèse, en résume les principales contributions et limitations. Nous ouvrons enfin de multiples perspectives futures, certaines d'entre elles étant déjà entamées dans le cadre d'un séjour de recherche au Massachusetts Institute of Technology.*

*L'ensemble de la thèse est structuré par des cadres, en tête de section, qui en résument rapidement le contenu. Des marqueurs reconnaissables attirent par ailleurs l'attention sur certaines discussions.*







## Chapitre 2 - Etat de l'Art

Cet Etat de l'Art ne se limite pas, section par section, à recenser et comparer les apports respectifs des principaux auteurs. Notre volonté est de construire notre propre modèle théorique à partir des théories existantes (que ce soit pour l'état de fait d'une situation ou pour la construction d'une méthode de recherche), ce qui justifie des prises de position qui peuvent parfois paraître tranchées mais qui trouveront confirmation au cours des études in situ.

### 1. Processus de conception en activités expertes

Cette section examine les grands courants de pensée qui ont structuré l'étude théorique et la modélisation du processus de conception individuel et collaboratif. Les principales théories et méthodologies issues de l'ergonomie cognitive, qui outillent nos études in situ et expérimentales, sont résumées. Nous discutons la pertinence de l'ergonomie cognitive comme soutien efficace des recherches en ingénierie de conception, puis décrivons plus en détail la théorie de l'activité et la théorie instrumentale, ou théorie de la médiation par ce que nous dénommons les «objets médiateurs».

#### 1.1. Processus cognitifs en conception - les principales communautés de recherche

Deux disciplines se sont historiquement impliquées dans la tentative de théorisation et modélisation de processus de conception : d'une part la communauté de l'*engineering design* et d'autre part celle de la recherche en psychologie cognitive et ergonomique. Howard, Cullez et Dekoninck ont comparé les deux angles de vue, soit pas moins de 23 modèles de l'*engineering design* et 19 modèles de processus créatifs en psychologie (Howard et al., 2008). Ils ont prouvé que de nombreux points communs lient les deux approches. Les thématiques examinées en psychologie sont classifiées en 4 domaines distincts :

- le processus créatif ;
- le produit de la créativité (*creative output*) ;
- l'analyse de ce que représente l'être créatif
- et les recherches portant sur l'environnement (et ses impacts).

Ces thématiques peuvent être assimilées à celles considérées en engineering design, soit :

- les processus de résolution de problème ;
- l'analyse du design output et de l'activité de conception ;
- les recherches portant sur l'organisation, le management d'équipe et les caractéristiques des concepteurs impliqués dans une activité de conception.

Outre le fait que ces disciplines examinent des questions parallèles, elle s'articulent également dans le temps. Nigel Cross, dans son livre «*Developments in Design Methodology*», distingue quatre grandes étapes qui ont chronologiquement structuré l'ensemble de la recherche en conception (Cross, 1984) :

- Une première étape, située entre l'après-guerre et 1966, où des précurseurs tels que Pahl et Beitz ont tenté de mettre au point des méthodes systématiques de conception, qui tendaient vers un idéal de prescriptions universelles.
- Entre 1967 et 1973, face à l'échec relatif des méthodes prescriptives, plusieurs auteurs tentent de mieux cerner la nature intrinsèque de l'activité de conception : les problèmes de conception sont, à partir de cette époque, plutôt considérés comme peu systématisables. Différents auteurs tentent alors de comprendre leur apparente complexité, attribuant une grande part de celle-ci au caractère mal défini des problèmes de conception. Ce caractère mal défini, qui fait encore école aujourd'hui, serait lié à l'aspect non exhaustif de la formulation des contraintes et des données du problème (Darses, Falzon, & Mondutéguy, 2004b).
- A la fin des années 1970, face à l'apparente difficulté d'obtenir en laboratoire des données suffisamment représentatives de l'activité de conception, les scientifiques entament une observation de celle-ci dans un cadre réel (collection écologique de données).
- A partir de 1972, l'ensemble des concepts jusqu'alors proposés sont considérés sous un angle plus cognitiviste et intègrent les critères ergonomiques de l'analyse de l'activité. C'est l'émergence d'une approche plus psychologique au sein de la communauté dès lors élargie du *design research*.

Depuis 1984, la communauté poursuit l'approche compréhensive des phénomènes mais ne s'y limite plus. La mise au point des théories et des modèles s'accompagne désormais d'une forte volonté d'amélioration et d'optimisation du processus, via le développement de méthodologies et d'outils d'assistance, ainsi que d'une nécessité de comprendre en profondeur tous les supports extérieurs au processus. Ceux-ci complètent d'une certaine manière les compétences cognitives des concepteurs. Parmi ces supports, le dessin à main levée et plus récemment les outils de conception assistée par ordinateur ont toujours suscité énormément d'intérêt. On peut donc distinguer aujourd'hui deux orientations majeures dans l'étude de la conception : l'orientation cognitiviste, souvent construite sur base des méthodologies du *protocol analysis* et l'orientation computationnelle, qui tend à construire des modèles

d'utilisation de l'information (Achten, Dorst, Stappers, & de Vries, 2005). Le tableau suivant, que nous reprenons tel quel de (Motte & Bjärnemo, 2004) pour sa concision et sa clarté, résume les multiples ramifications que peut prendre, à partir de cette base, la recherche en conception.

General scopes of the studies	Design theory Design process methodologies Design process as a whole Design supports Design education Theoretical implications on cognitive psychology
Objects of the studies	Clarification of the task Conceptual Design Problem understanding Idea generation Evaluation Design supports Sketching CAD systems, AI systems Designer's characteristics
Cognitive approaches	Problem solving Problem space Heuristics Thinking process Knowledge-based models Retrieval and use of information Knowledge representation : concepts and categories, schema Imaginery Memory Human intelligence, Artificial intelligence
Findings for problem solving in the process design	Confirmation of the validity of prescriptive methods but Claim for an acknowledgement of findings in cognitive psychology : Dealing with early appearance and persistence of a kernel idea Failure to search for alternative solution Design fixation (inclination to stick with early satisficing solutions) Superficial assessment, subjective judgment Hypothesis of inhibitory memory process subsequent to recognition of familiar solution Lack of flexibility in designer's thinking behavior Claim for design supports, as extensions of the designer Sketching Improving 3D system Intelligent systems for retrieval and reuse
Study methods	Experiments : Study of the cognitive aspects of individuals during design : Verbal protocol analysis and Sketch analysis Quantitative study

Fig. 8 - La recherche en conception résumée par Motte & Bjärnemo, (2004).

## 1.2. Principales caractéristiques du processus de conception

Nous résumons dans un premier temps les théories majeures qui construisent le panorama actuel de l'activité de conception. Un examen plus chronologique, dans un second temps, permettra au lecteur intéressé d'appréhender de façon plus globale l'évolution des courants de pensée. Certains de ces courants ont été depuis réfutés en tout ou en partie, mais ils construisent néanmoins la compréhension de ces phénomènes complexes, qui se contentent rarement d'un seul point de vue.

En première approche, nous reproduisons ici un tableau proposé par Belliès (1994), que nous complétons de quelques éléments, et qui présente ainsi les caractéristiques principales de la tâche de conception et leurs impacts sur *l'espace problème/solution*<sup>8</sup> (figure 9).

Nous verrons que la conception voit sa définition (ou plutôt les notions partielles de sa définition) évoluer au fil du temps, en fonction des considérations propres à chaque époque. Elle est ainsi successivement résolution d'un problème complexe et mal défini ; processus inventif, créatif et mystérieux ; résultat conceptuel issu de l'articulation de connaissances ou encore construction de représentations. D'une manière générale, elle peut être vue comme un processus individuel et/ou (plus généralement) collectif qui tend à atteindre, pour un problème donné, une solution satisfaisante (jamais unique ni optimale). Dans le domaine spécifique du design industriel, cette solution répond à un besoin concret et résulte le plus souvent en la production d'un ou plusieurs artefact(s) (physique mais aussi symbolique ou systémique).

---

<sup>8</sup> Cette notion d'*espace problème/solution* est issue des propositions de deux grands théoriciens de la conception, Newell et Simon (Herbert, A.). Ces deux auteurs analysent un problème en termes d'états et d'opérateurs. Un problème, selon eux, consiste en un «état initial» et un ensemble «d'opérateurs légaux», en ce sens qu'ils sont pertinents pour la transformation de l'état initial en un état final, l'objectif. Les opérateurs sont liés à une série de contraintes qu'ils doivent satisfaire avant de pouvoir être appliqués. Une fois cette condition remplie, la résolution du problème a lieu au sein d'un «espace problème» qui contient les états (initiaux et finaux), les opérateurs et leurs contraintes. Simon, en 1978, dit à ce propos : «la recherche d'une solution est une odyssée à travers l'espace problème, d'un état de connaissances à un autre, jusqu'à ce qu'un de ces états inclue l'espace solution» (extrait trouvé dans (Visser, 2006)). En réinterprétant cette théorie, plusieurs auteurs oublient que Newell et Simon ne considéraient pas le problème indépendamment de la personne qui doit le résoudre : l'espace problème est une représentation propre à un individu, qu'il se construit pour lui-même. Dès lors, la notion d'espace problème ne se limite pas, dans la théorie originelle, à une simple décomposition en contraintes et sous-problèmes indépendants, puisque que ce même problème n'existe jamais indépendamment de la personne qui y est confrontée.

Caractéristiques de la tâche de conception	Conséquences sur la structuration de l'espace problème/solution
Problème mal défini Mal structuré, vaste (Darses, 2004)	Entraîne une décomposition des buts en sous-buts et contraintes, de façon plus ou moins cohérente
Concepteurs vont faire appel à leurs connaissances personnelles, professionnelles, pour répondre au problème	Des données issues d'heuristiques, d'analogies et de règles vont faire leur apparition au sein du processus
Contraintes fluctuent et sont énoncées tout au long du projet Définition du problème et élaboration de la solution se font en interaction (Darses 2004)	Déclenche une organisation opportuniste et itérative Entraîne des changements de représentation médiatisées par une hiérarchie d'abstraction
Les buts à atteindre sont mal définis Les retours en arrière sont longs et coûteux, mais pas impossibles (Darses 2004). Certaines décisions, cruciales pour le processus, représentent pourtant de véritables «sauts» dans la conception : elles marquent des points de non retour.	Les concepteurs doivent se compromettre sur les décisions et développer des stratégies de contrôle dans un esprit de «moindre compromission». La solution n'est pas unique ni optimale, mais satisfaisante.
Les possibilités d'évaluer l'adéquation du projet à son utilisation finale sont limitées (au cours de la résolution) car éloignées dans le temps. Les critères d'évaluation sont mal connus (Darses 2004).	Entraîne la nécessité de modéliser le projet, d'en simuler son fonctionnement.
Elargissement de la sphère des acteurs et processus d'ingénierie et conception dits «concourants» (Darses 2004).	Mise en place de structures dites participatives Prise en compte des dimensions socio-cognitives et collaboratives Introduction d'une version «forte» de la coopération (Zarifian, 1996, cité par (Darses, 2009)).

Fig. 9 - Extraits du tableau issu du mémoire de DEA de Laurence Belliès, avec ajouts d'autres auteurs réalisés par nos soins.

Résoudre un problème de conception revient donc à résoudre un problème sémantiquement complexe, le plus souvent non routinier, qui se caractérise par l'absence d'une procédure globale de résolution pré-définie. Nous verrons dans les sections suivantes pourquoi ces problèmes sont dits peu ou mal définis (Simon, 1973 et 1995, cité par (Bonnardel, 2006)). Ils font appel à une large part de connaissances implicites, complexes et vastes dans leurs domaines d'origine et généralement distribuées entre plusieurs acteurs (Fischer 2001 et 2005, cités par (Bonnardel, 2006)). La solution quant à elle n'est qu'acceptable et satisfaisante, *jamais optimale*, les critères d'évaluation d'une éventuelle solution suprême n'existant pas.

Le processus de conception en lui même conserve sa part de mystère. Des thématiques telles que la créativité, l'innovation, l'insight constituent depuis longtemps un axe de recherche important et laissent les chercheurs devant des débats largement ouverts. Un autre débat suscitant toujours beaucoup d'intérêt subsiste entre

d'une part les défenseurs d'un processus de conception vu comme un modèle hiérarchique, structuré et d'autre part les défenseurs d'un modèle plus opportuniste. L'option opportuniste semble remporter ces dernières années plus de voix et nous semble également plus proche des processus que nous observons, mais nous garderons à l'esprit que les deux principes de résolution bien souvent s'associent (Ullman et al, 1990 et Visser, 1994, cités par (Candy, 1997)). Le concepteur fait intuitivement le choix de l'un ou de l'autre en fonction du niveau de complexité de certaines phases de la résolution, de son expertise et du contexte organisationnel.

Cette résolution opportuniste du processus de conception est une démarche associant elle-même deux types de démarches. La première, dite *top-down*, est liée à la complexité des situations à traiter et à la nécessité de structurer le problème global en sous-problèmes selon une démarche de planification descendante. Mais l'intégration progressive des contraintes du problème, au fil de la conception, mène parfois à une démarche plus ascendante, dite *bottom-up*. C'est la combinaison de ces deux démarches qui mène à cette structuration dite opportuniste, construite en fonction des données introduites plus ou moins aléatoirement au cours du processus et vues comme des possibilités de réduction du coût cognitif<sup>9</sup>. Cette vue de la conception admet que le concepteur puisse sans cesse re-visiter ses décisions antérieures, faire marche-arrière, s'éloigner de la résolution et en post-poser les phases. La conception serait ainsi «*opportuniste, avec des épisodes hiérarchiques*» (Visser, 2009).

Ce faisant, le processus de conception peut être également considéré comme rythmé par des transformations latérales et verticales (Goel, 1995). Les transformations latérales apparaissent lorsque le concepteur passe d'une idée à une autre, légèrement différente dans sa fonction et sa structure. Ces transformations apparaissent principalement durant les phases conceptuelles de la conception, mais peuvent aussi survenir plus tard. Les transformations verticales, quant à elles, surviennent plutôt pendant les phases aval de la conception, lorsque le concepteur développe une seule et même idée et propose une version de cette idée légèrement plus détaillée que la version précédente. Ces théories de Goel ont été fréquemment discutées et étendues, notamment par Rodgers, Green, & McGown, (2000), qui introduisent le concept de «duplication» d'une idée, phase de recopiage en quelque sorte qui laisse au concepteur le temps de la maturation.

Toutes ces théories, sans oublier la théorie du *see-transform-see* de Schön et Wiggins (que nous développerons plus tard), tentent en résumé de capturer et retranscrire les intenses allers-retours entre monde mental du concepteur et monde extériorisé, soutenu par divers types de représentations favorisant les ré-interprétations et les émergences. Ces représentations, ainsi que les outils qui y sont liés, se transforment dans leurs contenus et leurs usages tout au long du processus et évoluent sur divers niveaux d'abstraction. Cette caractéristique du processus de conception est fort bien résumée dans (Darses, 2004). L'auteur rappelle que la manipulation des représentations artefactuelles va se faire, au fil de la conception, à des niveaux

---

<sup>9</sup> Le coût cognitif est défini par Visser (1994, citée dans (Visser, 2006)) comme «le nombre d'unités d'information qui doivent être traitées et la nature de ce traitement (le coût évaluant tant l'accession aux informations requises que leur utilisation)».



d'abstraction différents. Ce véritable parcours au travers d'une hiérarchie d'abstractions (Rasmussen, 1979, cité par (Leclercq, 1994)) privilégierait le développement cohérent des bas niveaux de représentation (matériels et concrets).

### 1.3. La conception vue comme un processus créatif

Le processus de conception peut également être considéré plutôt au travers de ses dimensions créatives. On l'a vu, la solution optimale n'existe pas et n'est jamais atteinte. Ce qui n'empêche que la solution adoptée puisse être inventive et à plusieurs niveaux : on parle de conception routinière, innovante, ou créative (Darses, 2004).

Nous n'étudierons pas ici exhaustivement les théories relatives à la créativité. Bonnardel dans son livre *«Créativité et conception - Approches cognitives et ergonomiques»* (2006) nous en propose une définition : la créativité serait ainsi, aux yeux d'une bonne dizaine d'auteurs, la *«capacité à avoir une idée ou à réaliser une production à la fois nouvelle et adaptée au contexte»* (p. 21), *«la nouveauté ne [suffisant] pas, [...], il faut en outre qu'elle satisfasse à différentes contraintes liées à la situation considérée»* (p. 22). L'auteur souligne que ces caractéristiques de nouveauté et d'adaptation au contexte sont à la fois valables pour l'opérateur créatif et pour le produit de sa créativité. L'auteur s'intéresse au caractère novateur de la créativité, souvent associé à l'idée d'originalité, *«l'idée ou la production (devant) se distinguer de ce qui a déjà été réalisé par le créateur lui-même ou par d'autres personnes»* (p.21). Cette idée de nouveauté, elle-même difficilement définissable, est bien plus facilement appréhendée lorsque des distinctions telles que créativité *«habile ou routinière», «extra-ordinaire, innovante ou non routinière»* apparaissent. Selon Mayer (1989, cité dans (Bonnardel, 2006)) et avant lui Rasmussen (1983, cité par (Falzon & Teiger, 1995)), un problème routinier ou habile (comportement régi par des habiletés) peut se définir comme un problème facilement résolu grâce à l'application de procédures de résolutions pré-définies et connues. Le produit ne diffère que légèrement de ce qui a été conçu auparavant, le concepteur ayant pu rapidement appliquer un schéma de résolution connu. Dans le cas des problèmes non routiniers par contre, qui peuvent être soit innovants, soit créatifs (voir (Darses, 2004)) aucune procédure connue n'est disponible. Les concepteurs doivent faire preuve de créativité dès la phase de mise au point de cette nouvelle procédure. Le produit est alors en grande partie différent des solutions proposées antérieurement. Les aperçus que nous aurons de la conception en design industriel au travers de nos observations appartiendront plus aux problèmes dits de conception innovante (Darses, Détienne, & Visser, 2004b).

Pour atteindre ces niveaux de créativité, les concepteurs font appel à toutes les connaissances à leur disposition : connaissances dans leurs domaines ou dans d'autres, heuristiques de résolution, ... ((Falzon & Teiger, 1995)). L'heuristique, en particulier, est un concept développé par certains auteurs qui refusent d'accorder trop de crédit à ce qui est uniquement fondé sur l'analyse et l'observation. Popper (1972, cité dans (Visser, 2006)) assure à ce sujet qu'aucune décision ne peut être déduite d'un fait isolé : le concepteur détient initialement des connaissances qu'il va utiliser en comparaison avec le problème proposé. Seront ainsi exploités des règles générales du domaine tout

autant que des faits issus de l'expérience personnelle. Cette exploitation peut être typologique (Heath, 1984) : le concepteur résout le problème en regard de sa signification sémantique<sup>10</sup> ; ou conceptuelle (Zeisel, 1981, tous deux cités dans (Visser, 2006)) : cette fois il sélectionne rapidement une image globale intuitive du produit<sup>11</sup>.

D'autres théories font appel à des connaissances préalables, stockées en mémoire. L'utilisation d'analogies, par exemple, constitue une autre stratégie possible de résolution de problème. Ces analogies peuvent apparaître à plusieurs niveaux (Lassange, 1995, cité dans (Visser, 2006)) :

- Transfert de composants : des composants finalisés sont ré-interprétés à la lumière du nouveau projet et de son contexte. Le schème de réponse est pré-existant et doit juste être adapté ;
- Réutilisation de processus : «dans le style de ...» (style d'un concepteur connu, par exemple, ou d'un grand courant artistique) ;
- Référence indirecte : le concepteur se réfère à des représentations figuratives, des objets, un élément culturel, un sentiment, des idées, ... (Goodman, 1990, cité dans (Visser, 2006)).

Ces analogies, grâce à la multiplicité des domaines de connaissances et des sources d'information invoqués, convoquent des images de référence mais aussi des structures et sont ainsi distinguées des plagats. Leur étude est affinée dans de nombreux papiers (Ball & Christensen, 2009 ; Bonnardel, 2006 ; Borillo & Goulette, 2002 ; Casakin & Goldschmidt, 1999 ; Visser, 1996), mais comme nous les considérons que comme des inputs possibles à l'activité, nous n'étendrons pas ici la revue de l'état l'art à leur propos.

#### 1.4. La conception vue comme la résolution d'un problème - l'approche SIP

Plusieurs des auteurs des deux communautés de recherche (engineering design et psychologie cognitive et ergonomique) semblent s'accorder conceptuellement sur un point crucial : les activités de conception et les processus créatifs sont considérés tout deux comme des processus de résolution de problèmes complexes (Guilford, 1964 ; Matlin, 2001 ; Newell, Shaw & Simon, 1962 ; cités dans (Bonnardel, 2006)). Lubart propose une définition générale du terme de «*problème*» comme étant «(...) toute tâche qu'un individu cherche à accomplir» (Lubart et al, 2003, p.88, cité par (Bonnardel, 2006)).

La définition et la caractérisation d'un processus de conception vu comme la résolution d'un problème sont historiquement liés aux travaux fondateurs de Herbert A. Simon. L'objectif initial de Simon était de développer une approche théorique qui

---

<sup>10</sup> Par exemple : face à des objets symboliques, le designer va faire appel à son intuition et face à des produits plus traditionnels, il préférera une approche plus systématique, presque algorithmique (résolution pré-définie, routinière du problème).

<sup>11</sup> La conception commence après la sélection intuitive de cette première image interne.

soit indépendante du domaine d'application, soit une approche générique de la conception (Chevalier, 2009), qu'il a nommée «Symbolic Information Processing»<sup>12</sup> (SIP). Il disait à ce propos «*it means synthesis. It means conceiving objects, processes, ideas for accomplishing goals, and showing how these objects, processes or ideas can be realized. Design is the complement of analysis – analysis means understanding the properties and implications of an object, process or idea that has already been conceived*» (extrait de (Visser, 2006)).

Cette proposition tient en 5 points principaux, dont certains sont encore d'actualité :

- le problème est considéré comme mal-structuré (ou mal défini), mais peut être rapidement structuré, par l'application de certaines stratégies (de sélection de contraintes, notamment) ou grâce aux analogies auxquelles le concepteur pourrait faire appel (en appliquant par exemple des mécanismes de résolution connus) ;
- le problème de conception s'accompagne d'une recherche dans un espace de solutions qui contient plusieurs arrangements possibles du problème ;
- en cela, la solution est toujours satisfaisante et jamais optimale ;
- le problème doit être résolu en deux étapes consécutives (la première étant la structuration du problème et son analyse et la seconde la résolution de celui-ci) ;
- l'activité de conception est une activité cognitive plutôt qu'un statut professionnel.

Simon a construit cette théorie sur base de tâches beaucoup plus courtes et moins complexes que des tâches réelles de conception (résolution de puzzles algébriques ; jeux d'échec ou de logique ; ...). D'après lui, ces principes conviennent à toutes sortes de problèmes, l'activité de conception ne présentant aucune difficulté particulière qui requière d'autres concepts. Ce point de vue, connu comme étant la position *nothing special* de Simon, est d'après nous très discutable.

Le problème mal structuré, ou mal défini, est caractérisé par Simon en 1984 par un ensemble de critères absents ou non rencontrés :

- un critère connu pour tester et valider la solution proposée ;
- un espace problème concentrant un état initial du problème, un état «objectif» et tous les états intermédiaires nécessaires à la résolution du problème ;
- un espace problème qui renferme toutes les connaissances dont le concepteur pourrait avoir besoin pour résoudre le problème ;
- la possibilité de prédire avec exactitude la façon dont le nouveau produit pourrait faire «changer le monde».

Visser et ses collègues soulignent alors les principales limitations de la théorie SIP (Visser, 2006) :

- cette théorie, trop systématique, ne traduit pas le caractère non ordonné et opportuniste de la conception. Simon sur-évalue le rôle de la décomposition

---

<sup>12</sup> en français «Traitement symbolique de l'information», TSI.

systématique dans la résolution du problème : deux phases séparées ne suffisent pas à trouver la solution, la conception étant bien plus qu'un processus linéaire ;

- Simon considère l'intuition, *l'insight* et l'inspiration non pas comme une force interne et mystérieuse mais tout simplement comme un acte de reconnaissance (la résolution par la remémoration). Visser fait cependant remarquer que les idées intéressantes ne sont pas toujours évoquées par les représentations conservées en mémoire par le concepteur et dépendent souvent de sauts conceptuels moins basiques que cela (appelés «sauts interdomaines»);
- enfin, l'approche SIP ignore certaines autres caractéristiques de la conception, riches et spécifiques, telles que l'interaction du concepteur avec les autres et son environnement ; l'utilisation qui est faite des connaissances et représentations tout long du processus.

Les travaux de Simon sont souvent confrontés à ceux de Schön, en particulier son approche réflexive et située, ou *Situativity approach* (SIT). Ces deux mouvements historiques et leur confrontation traduisent les principaux paradoxes encore existants en sciences cognitives.

#### 1.5. La conception vue comme une activité réflexive et située - l'approche SIT

Schön considère la conception sous un angle constructiviste, comme une pratique réflexive. Une activité *réflexive et située* peut donc être définie comme une activité dans laquelle la tâche elle-même devient l'objet de la réflexion, dans un contexte défini. Pour Schön et Wiggins (1992), l'approche SIT doit absolument être contrastée de l'image de la conception comme une «recherche au sein d'un espace problème» (être contrastée donc des théories SIP). Le concepteur construit plutôt son propre monde de conception, détermine lui-même les dimensions de l'espace problème et évolue dans cet espace selon son propre mouvement, tentant de trouver une solution. Ces mouvements provoquent des changements inattendus, qui donnent à la situation de nouvelles significations, chaque acte de conception préparant en quelque sorte l'épisode suivant de conception. Ces mouvements font également évoluer, en cycles itératifs, le problème de son état abstrait jusqu'à sa solution détaillée et implémentable. «*La situation répond, le concepteur écoute et comme il/elle apprécie ce qui est à entendre, il/elle restructure la situation, une fois de plus*» (librement traduit de (Schön, 1983)). Schön nomma cette caractéristique du processus de conception la réflexion dans l'action, la conversation réflexive ou la théorie du *see-transform-see*.

Les auteurs développent également plusieurs «façons de voir» (ou *kinds of seeing*). Ces façons de voir peuvent effet consister en l'appréhension visuelle du sens nouveau, mais aussi en la détection de la conséquence d'une action, en un jugement ou une appréciation, en la reconnaissance d'une qualité, d'une caractéristique ou d'un pattern, ou encore en la construction de figures ou de *gestalts* (Schön & Wiggins, 1992). Plus tard, d'autres théoriciens complèteront cette théorie. C'est le cas par exemple des théories du *seeing that* et *seeing as* de Goldschmidt. Le phénomène du *seeing that* apparaît lorsque le concepteur considère des propriétés directement figurées

dans l'esquisse ; le *seeing as*, par contre, n'est pas lié à des propriétés formalisées graphiquement - c'est plutôt l'émergence d'un concept non figural, une ré-interprétation (Goldschmidt, 1991).

La théorie SIT souffre de certaines limitations et lacunes de précision. En effet, ses conclusions présentent un caractère moins généralisable, ce qui est principalement dû à l'importance donnée à l'environnement, le contexte, les caractéristiques sociales et culturelles, soit l'épaisseur conceptuelle des situations dans lesquelles peuvent se trouver le concepteur. Il est en effet complexe de systématiser ces éléments plus flous au sein d'un modèle intrinsèquement simplificateur. Cette théorie est en conséquence considérée comme plus appropriée à l'étude des phases préliminaires de la conception, sa force descriptive étant moins adaptée aux phases de mise en détail.

Il est à noter qu'aucune des théories fondatrices (SIP et SIT et apparentées) ne rend compte parfaitement de l'activité de conception : certes la conception est une résolution de problème, mais pas seulement ; de même, les interactions réflexives et les constructions de représentations ne suffisent pas à exprimer toutes les complexités du processus. Les approches, considérées conjointement, mettent en lumière différents aspects d'étude (Norman, 1993). L'organisation séquentielle de certaines propositions ne tient pas compte de l'activité de conception réelle, qui ne suit que très rarement des séquences ainsi définies. Ces modèles, linéaires bien qu'insérant quelques boucles, restent en effet bien trop rigides et pauvres pour représenter réellement toute la richesse d'un processus créatif/de résolution de problème. Ils constituent néanmoins une première tentative de discernement des différentes étapes par lesquelles un designer peut passer pour faire évoluer une solution. Le choix d'un paradigme de recherche ou de conception dépendra donc des objectifs, de l'objet de l'étude et, plus fondamentalement, du type de conception observé.

## 1.6. L'approche anthropo-centrée de l'activité et la théorie instrumentale

### 1.6.1. Pertinences

Nous ferons souvent appel à la notion de «contexte» tout au long de ce travail. Dans un article de référence résumant l'état de la situation en design research et les défis encore à relever, Dorst souligne l'importance de réintroduire le contexte dans l'étude de l'activité, sans se limiter au processus comme c'est trop souvent le cas : «*likewise, we are surprised that the tools we are developing are not widely used in design practice [...]. The momentous changes in design practice that are taking place at this time do not seem to influence design research at all. But they should [...]*» (2008, p.7). Ce contexte, ou cet ensemble de «ressources environnementales», regroupe tous les éléments et informations dont le concepteur s'entoure pour mener à bien sa tâche (Benchekroun et al, 1995, dans (Decortis, Noirfalise, & Saudelli, 2000)). Dans le cas particulier du design industriel, cette notion regroupe principalement le contexte du projet de design (les conditions de sa demande, les délais, contraintes, coûts, les modalités de communication avec le client, ...) ; le contexte de la conception individuelle ou

collaborative ; le contexte de travail (l'environnement physique de travail, les outils à disposition, l'organisation hiérarchique et les liens sociaux créés entre collègues).

Se saisir du contexte et des pratiques actuelles pour la définition d'un système d'assistance s'accompagne de deux difficultés majeures :

- faire évoluer l'état de fait initial vers une situation augmentée innovante ;
- discerner dans la situation professionnelle initiale quels aspects doivent être «augmentés», conservés ou rejetés.

La première difficulté pose la question de la pertinence de l'étude des usages actuels pour la mise au point de principes innovants. En se limitant, en quelque sorte, à ce qui se fait aujourd'hui, ne fermons-nous pas la porte à l'innovation radicale, une solution révolutionnaire, qui ferait appel à des interactions toutes différentes de celles que l'on observe habituellement ? Ce risque pour l'innovation est lié à ce qu'on appelle le *paradoxe de la conception* (figure 10). D'après ce graphe de Midler, les connaissances de la situation future, qui sont sensées nourrir la conception de tout projet, sont nulles en début de conception (alors qu'à ce stade, tout est possible) et maximales à l'aboutissement du projet (les marges de manoeuvre étant alors nulles). C'est le paradoxe soulevé par de nombreux auteurs (et résumé dans un article très controversé de Norman (2010)) : comment s'adapter à une situation d'usage futur dont on ne sait rien ? En quoi les connaissances actuelles pourraient-elles être d'une quelconque utilité, surtout si l'on veut innover ?

Pour apporter un élément de réponse à ces questions, discutons deux aspects de ce graphe de Midler. Le premier aspect tient en la représentation linéaire du déroulement du processus de conception. Or on sait aujourd'hui, cela a été prouvé par de nombreuses recherches, que la conception est par essence itérative : son évolution chronologique n'est pas linéaire, mais est faite de retours en arrière, d'essais-erreurs durant lesquels la possibilité d'action varie et les connaissances sur la situation évoluent. La courbe devrait donc présenter des boucles itératives. Les marches d'escalier de la courbe ont au moins l'intérêt de figurer les *sauts* dans la conception, points de non-retour qui cristallisent certains aspects de la résolution du problème et limitent les itérations. Le second aspect est d'imaginer pouvoir partir de zéro lorsque l'on conçoit, faisant fi de toute connaissance de la situation finale et future. Or demander à un concepteur de faire table rase de toute connaissance préliminaire, de tout ce qu'il a appris, de tout ce qu'il imagine être la situation future (que ces données imaginées soient pertinentes ou fantasmées) est impossible.

Partant de ces constats et pour répondre à la première difficulté et aux questions qu'elle invoque, il est donc indispensable que le concepteur s'assure que les suppositions qu'il fait dès le départ à propos de la situation future soient cohérentes avec la situation réelle initiale, se justifient par rapport aux contextes de travail. Ces données initiales ne doivent pas être considérées comme un frein à l'innovation, mais plutôt comme la condition *sine qua non* d'une conception qui ne bafoue pas les besoins réels, base conceptuelle sereine pour des interactions réellement innovantes.

Evidemment, comme le souligne (Béguin, 2007), ceci n'empêche que le système doive rester souple et plastique, même s'il se construit sur des situations existantes : des marges de manoeuvre suffisantes doivent être laissées aux opérateurs, pour une meilleure atteinte de leurs objectifs.

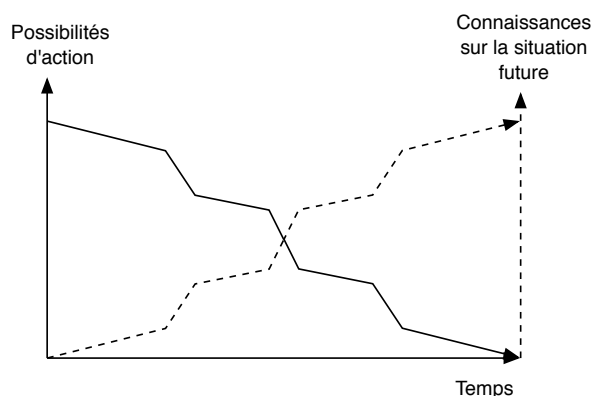


Fig. 10 - Le paradoxe de la conception dans son déroulement temporel - emprunté à (Midler, 1996).

La seconde difficulté pour la définition d'un système d'assistance tient en la distinction entre les principes d'usages qui doivent être effectivement respectés et reconduits, ceux qui peuvent être légèrement ou totalement modifiés (avec comme conséquence inoffensive un apprentissage neuf de la part de l'utilisateur) et, enfin, ceux qui sont adoptés mais non adaptés et qui méritent d'être supplantés par d'autres mécanismes. Dans le cas des techniques d'interactions existantes en CAO, la pertinence de la souris en tant que dispositif d'entrée, par exemple, a souvent été remise en question. Les techniques actuelles, avec leurs limitations et leurs contraintes, ont participé en effet à «*l'émergence de nouveaux types et formes d'actions*» (Blavier, 2006, p. 45). Certaines de ces actions n'étaient pas initialement prévues mais se sont imposées dans l'usage, faute de mieux. Comment peut-on détecter et faire le tri entre tous ces usages neufs, ces *réalités silencieuses* éventuellement inadaptées (Nijs, Vermeersch, Devlieger, & Heylighen, 2010, p.6) ? Il n'existe pas à notre connaissance de méthode toute indiquée et réellement adaptée à la distinction de ces pertinences. Nous sommes convaincus qu'un des seuls moyens d'y parvenir est de détailler les situations et les usages, même détournés, des objets.

Pour mener efficacement l'étude de ces éléments de contexte et ces usages, nous faisons appel aux théories et méthodologies de l'ergonomie cognitive, qui, par leur approche située et compréhensive de l'homme au travail, complètent le point de vue offert par l'ingénierie de conception<sup>13</sup>. Les informations tangibles ainsi recueillies nous permettent, comme exposé dans la présentation des objectifs de la recherche, de proposer un système d'assistance dédié, adapté et adopté pour les utilisateurs finaux, qui ne sont pas réduits à un simple sous-système de l'étude (Darses & Wolff, 2006).

<sup>13</sup> Nous avons étudié cette discipline pendant une année au CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers) dans le cadre d'un Master en Sciences du Travail et de la Société, Mention Ergonomie, Spécialité Recherche.

Parmi les paradigmes contemporains de l'ergonomie, nous optons pour la théorie de l'activité qui outille l'analyse compréhensive et située de l'activité de travail (Darses, Falzon, & Mondutéguy, 2004). L'aspect développemental central de cette approche développé par Vygotski (1934-1997, dans (Darses, Détiene, & Visser, 2004a)), qui considère que le sujet poursuit son propre développement grâce à l'exécution de son activité, est exploité ici selon un angle légèrement différent. Tout comme le sujet et son activité évoluent au gré de leurs interactions, nous nous penchons plutôt sur le potentiel de développement de l'artefact, au travers du sujet et de son activité. Cette approche pratique de l'outil et de son externalisation se connecte ainsi à la théorie instrumentale, ou de médiation par l'artefact (Vygotski, Léontiev, cités in (Folcher & Rabarbel, 2004)). Ces deux théories fondamentales vont être détaillées par la suite.

Constatant les propositions de la cognition sociale distribuée, nous optons pour le caractère non symétrique de la relation qui lie l'outil au sujet, ainsi que l'étude de l'aspect social et contextualisé de la conception. Nous retenons également de ces axes théoriques l'étude des aspects collaboratifs et les diverses répartitions des connaissances qui existent : entre acteurs de compétences différentes (Rabardel & Bourmaud, 2003), entre l'homme et ses propres connaissances, entre les représentations internes et externes, entre les dispositifs techniques (Leplat, 2000). Au point de vue systémique, enfin, nous empruntons l'extension des facteurs considérés, les éléments de l'analyse devant plutôt être considérés comme «*les parties de plus grands tous, plutôt que comme des tous qu'il faut décomposer en parties*» (Ackoff, in (Leplat, 2000)).

#### 1.6.2. La théorie de l'activité comme référentiel d'étude théorique

Le concept fondateur de la théorie de l'activité est le *triangle de l'activité*. Constitué de trois pôles (le sujet, l'objet de son activité et l'artefact, médiateur de cette activité), ce triangle figure l'ensemble des relations qui construisent l'analyse compréhensive d'une activité, par exemple de conception (figure 11).

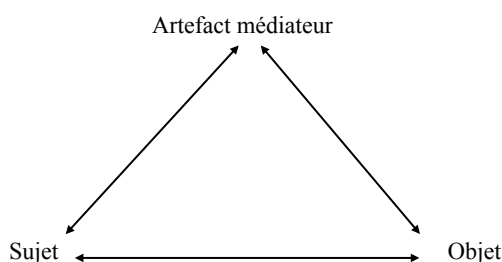


Fig. 11 - Le triangle de l'activité - Théorie de l'activité - Ecole Russe (Léontiev, Vygotski).

Dans le triangle qui est propre à notre recherche, le sujet devrait se limiter tout naturellement au designer, le concepteur en design industriel. La volonté de ne pas tomber dans le piège de l'acteur «évident» nous a cependant poussé à élargir le champ d'étude et à nous intéresser à tout sujet susceptible de s'inscrire activement, via l'usage de ses outils, dans un quelconque acte de conception préliminaire. Très rapidement le



dessinateur, mais aussi le prototypiste (ou sous-traitant) dans une moindre mesure, sont apparus comme susceptibles d'impacter le processus de conception et l'usage qui est fait des outils (dans le cadre précis de nos recherches).

L'objet de l'activité est la conception préliminaire d'un produit industriel. Au sein de cette activité globale, on peut distinguer des tâches, prescrites ou réelles, de conception individuelle ou collaborative (Leplat, 2000). Au sens large, une tâche se définit par «son but, c'est à dire par le résultat final à atteindre et par les conditions de travail dans lesquelles elle doit être exécutée (états, opérations, procédures)» (Barthe & Quéinnec, 1999). Dans ce cadre précis d'examen de tâches de conception outillées, nous considérerons également les définitions suivantes : pour Lebahar (2007), la réalisation d'une tâche de conception consiste à construire un modèle d'artefact, c'est à dire une représentation ; quant à Visser, *«l'activité de conception consiste en la transformation d'une représentation en une autre, où les deux sont de nature différente, mais représentent le "même" artefact»* (Visser, 2009, p. 70).

L'artefact médiateur, quant à lui, représente le médium (matériel, symbolique) utilisé par le sujet pour atteindre l'objet de son activité. Dans le cas particulier d'une activité de conception, où l'objet même de l'activité est de produire et faire évoluer une représentation, il nous faut faire une distinction entre les représentations de l'objet en cours de conception et les outils utilisés pour générer ces représentations. Cette distinction n'est pas toujours évidente à faire : l'esquisse, par exemple, est une des notions hautement polysémiques de l'activité de conception. Le terme d'esquisse peut en effet faire référence au médium physique de l'externalisation d'une idée (l'*outil* «esquisse» et ses composants, le papier et le crayon par exemple) ; il peut aussi décrire l'objet même de l'activité de conception (l'objectif intermédiaire de la conception préliminaire est d'esquisser plusieurs solutions possibles au problème posé) et peut tout autant constituer l'élément représenté, l'image intermédiaire du produit en cours de conception (l'esquisse comprise comme un dessin, un croquis). De même il se dégage plusieurs lectures de «la CAO». Ce terme peut consister en l'outil lui même, avec son interface homme-machine, ses modalités d'utilisation et de partage, les techniques de modélisation qu'il autorise ; il peut encore être l'artefact «cognitif», le modèle visuel et virtuel, support d'une conception 2D ou 3D ou enfin en une production artefactuelle matérielle, telle qu'une impression 2D graphique ou une impression 3D (stéréolithographie, coupes laser, ...), ayant la dimension physique d'une représentation externe. Ces polysémies transparaissent tout au long des verbalisations étudiées et s'expliquent, d'après Darses (2004), par la coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la compréhension des phénomènes. Afin de contourner les difficultés de cette polysémie, nous optons pour les définitions suivantes :

les outils sont définis par Lefort comme «*tout élément matériel (ou logiciel) utilisé par l'opérateur pour agir sur un autre élément*» (1982, cité par (Bourmaud, 2006)) ; les représentations (externes) sont elles le résultat (intermédiaire) de l'utilisation de ces outils. Nous emprunterons, pour ces dernières, la définition que Rabardel donne de l'artefact (1997, cité par (Bourmaud, 2006)) : «*produit de l'activité humaine intentionnellement constitué comme objet matériel et [/ ou] symbolique*». Le terme d'artefact sera lui intentionnellement laissé de côté, afin d'éviter toute ambiguïté ; nous ajouterons enfin à notre vocabulaire le terme d'objet médiateur, complémentaire aux deux précédents, qui sera exploité pour représenter «le médium» utilisé dans la réalisation de la tâche (médiation du concepteur/utilisateur vers lui-même ou vers les autres), qu'il soit objet (papier/crayon ; ordinateur et logiciel de CAO ;...) ou représentation (dessin ; modèle numérique 2D ou 3D ; impression physique d'un modèle virtuel ;...).

Enfin, dans le cas où plusieurs opérateurs «concepteurs» seraient intégrés conjointement dans la réalisation d'une tâche de conception et feraient appel à leurs compétences diverses, nous garderons à l'esprit les théories d'Engeström. Cet auteur ajoute une épaisseur sociale et située au triangle de l'activité, qui permet de prendre en compte des éléments tels que les règles, les différentes communautés et la division du travail qui s'instaure (figure 12). Les travaux de Clot vont également dans ce sens (Clot, 1997, cité par (Leplat, 2000)). D'après lui, l'activité est triplement dirigée : par le sujet, par les exigences de la tâche (et du contexte, rajouterons-nous) et par (vers) les autres.

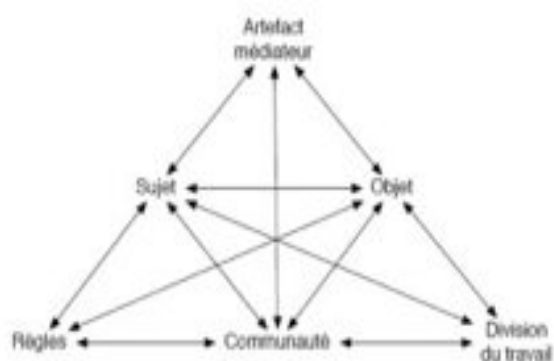


Fig. 12 - Intégration des aspects socio-économiques et organisationnels, triangle de l'activité (Engeström).

### 1.6.3. La théorie instrumentale comme référentiel d'étude de la médiation de l'activité par les objets médiateurs

Folcher et Rabardel distinguent trois approches principales dans l'étude du lien qui existe entre les hommes, les machines et les dispositifs techniques, matériels ou symboliques : l'approche IHM - qui étudie l'interaction entre l'homme et la machine ; l'approche SHM (système homme-machine), qui considère que l'homme et la

machine sont un système commun engagé dans la résolution d'une tâche ; et l'approche de la théorie instrumentale, centrée sur l'activité médiée par l'usage des artefacts (Folcher & Rabarbel, 2004). Sans entrer trop dans les détails, l'approche IHM se concentre bien sûr sur les caractéristiques que devraient présenter l'interface pour outiller correctement la relation entre l'homme et la machine. Elle découle généralement sur des listes de bonnes pratiques, pour des interfaces adaptées aux diversités des contextes et aux variabilités des utilisateurs, comme par exemple celles de Bastien et Scapin (1995). L'approche SHM, elle, couple véritablement les processus cognitifs de l'opérateur aux systèmes internes de la machine, la tâche étant appréhendée par l'ensemble. Les moyens d'actions qui en découlent sont relatifs à «la performance, la sécurité et la fiabilité du système homme-machine, ainsi qu'à l'adéquation optimale entre composants humains et non-humains» (Folcher & Rabarbel, 2004). L'activité médiatisée, enfin, se concentre sur les usages humains d'outils culturels. Elle réintègre les éléments du contexte dans l'analyse de l'articulation entre homme et artefact et s'intéresse aussi à l'évolution, aux transformations et aux mécanismes d'apprentissage qui se développent au travers de la médiation.

C'est une approche anthropocentrée construite autour des objets que nous privilégions donc tout au long de ce travail. Ces objets restent à nos yeux d'ingénieur/concepteur le moyen le plus efficace d'approcher les diverses épaisseurs du processus de conception. L'utilisation, l'enchaînement, les modifications des entrées objets mettent en évidence, d'après nous, les nouvelles caractéristiques du métier de designer industriel et permettent de comprendre la modulation engendrée dans la répartition des tâches et le mode de fonctionnement du collectif. Ce faisant, nous rejoignons Lebahar, qui interprète la situation observée «*comme la construction progressive d'une représentation définitive d'artefact s'appuyant, tour à tour, sur des résolutions de problèmes partiels mais aussi sur des cycles d'interaction entre le sujet-concepteur et la situation de conception*» (Lebahar, 2007), p.46). Schon et Wiggins, eux aussi, déclaraient : «*any faithful description of designing must take account of the fact that designers work in a medium - in our examples, they draw on paper - and literally see the evolving products of their work. Models of designing that treat only of conceptual matters [...] are bound to miss crucially important features of the design process, whatever else they may capture*» (Schon & Wiggins, 1992). Parmi les trois approches possibles des relations homme-machine, nos besoins s'accordent donc plus avec «la médiation de l'activité par l'usage des artefacts» (Folcher & Rabarbel, 2004).

L'étude de la médiation de l'activité est construite sur un triangle proche de celui de la théorie de l'activité (figure 13) mais un intérêt particulier est porté, en complément des trois pôles, aux liens qui existent entre ceux-ci.

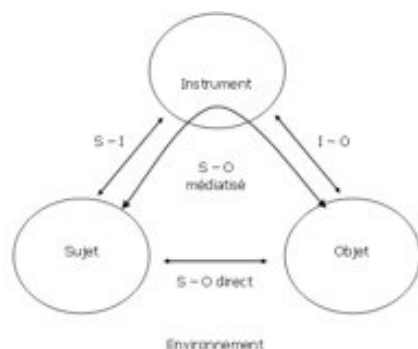


Fig. 13 - Le triangle de médiation, mieux connu sous l'appellation de modèle SAI, pour «Situations d'Activités Instrumentées», Rabardel et Vérillon (1985).

Ainsi, la médiation peut prendre 3 orientations possibles (Rabardel, cité in (Bourmaud, 2006)) :

- la médiation vers l'objet de l'activité, soit la «médiation à l'objet». Cette médiation peut être (i) épistémique : le sujet prend connaissance de l'objet, de ses propriétés etc. ; (ii) pragmatique : le sujet agit sur l'objet ou (iii) heuristique : le sujet gère sa propre activité grâce à l'objet, l'oriente et la contrôle (Beguin & Rabarbel, 2000) ;
- la médiation vers les autres, soit la «médiation interpersonnelle». L'activité d'un sujet, principalement en conception, est en effet dirigée vers les autres (Clot, 1995, cité dans (Bourmaud, 2006)). Cette médiation peut également présenter un caractère épistémique et pragmatique ;
- et enfin, la médiation vers le sujet lui-même, soit la «médiation réflexive». Vygotski donne à ce sujet l'exemple bien connu du noeud de mouchoir, qui est destiné à rappeler au sujet qu'il doit se souvenir de quelque chose. Cette médiation réflexive se retrouve également dans le rapport du concepteur à sa propre réalisation, au travers des représentations externes (cf. théories du *see-transform-see* de Schön).

Six principes de base structurent par ailleurs cette théorie instrumentale (Rabardel, 2001 ; Rabardel & Waern, 2003, cités par (Bourmaud, 2006)) :

- principe 1 - personal vs. system view : le sujet, sa tâche et son artefact ne sont pas considérés comme un seul système amplifié, mais plutôt comme des unités indépendantes qui s'impactent mutuellement ;
- principe 2 - asymétrie entre le sujet et l'artefact : sujet et artefact ne peuvent être considérés sur un même pied. L'artefact est la conséquence intentionnelle d'une interaction du sujet ;
- principe 3 - les artefacts (matériels ou symboliques) sont considérés comme les médiateurs de l'activité : ils sont indispensables à sa bonne réalisation ;
- principe 4 - dimensions sociales et culturelles des artefacts : l'artefact s'utilise d'une certaine manière, en accord avec les usages traditionnels d'une société et d'une culture particulière ;
- principe 5 - artefacts comme objets en développement : les artefacts ne sont pas immobiles dans leurs usages et leur définition, leur évolution étant constante ;

- principe 6 - dépendance aux situations : l'utilisation des artefacts poursuit un objectif, qui est impacté par les situations.

Si certains de ces aspects sont en adéquation avec les objectifs de nos recherches (les principes 3 et 5 par exemple) et si d'autres sont considérés comme une base évidente d'étude (principes 1 et 2), les dimensions sociales et culturelles de l'usage de nos objets médiateurs ne seront pas considérées. L'aspect développemental, quant à lui, nourrira nos réflexions mais ne constitue pas une base principale d'observation.

Un autre concept fondamental du modèle SAI (Situations d'Activités Instrumentées) est qu'il fait appel non plus à la notion d'artefact, mais à la notion d'instrument (voir figure 13). Le concept d'artefact comme élément isolé ne suffit pas à retracer efficacement une médiation de l'activité et est remplacé par l'instrument, vu comme l'association d'un artefact (matériel, cognitif, psychologique ou sémiotique) et d'un schème. Les schèmes sont définis, selon la tradition piagétienne, comme un *«ensemble structuré des caractères généralisables des activités d'utilisation des instruments. Ils permettent au sujet d'engendrer les activités nécessaires à la réalisation des fonctions qu'il attend de l'usage de l'instrument»* (Rabarbel, 1995). Les schèmes peuvent être (i) d'usage : lorsque le sujet est en interaction avec l'artefact (Folcher & Rabarbel, 2004) ; (ii) d'action instrumentée : les schèmes sont dirigés vers l'atteinte du but poursuivi par l'action et (iii) d'action collective instrumentée (Folcher, 1999 ; Cerrato, 2003, in (Bourmaud, 2006)) : lorsque l'artefact est utilisé par plusieurs sujets, simultanément et conjointement. L'utilisateur va pouvoir mettre ces schèmes en oeuvre selon deux processus : soit l'assimilation, où le sujet applique des schèmes identiques à des artefacts différents, soit l'accommodation, où le sujet puise dans ses schèmes personnels qu'il adapte à des situations nouvelles en les transformant et réorganisant. Les schèmes peuvent être inférés à partir de l'activité observée, en mettant en évidence les invariants de cette activité et peuvent révéler les causes de certaines difficultés rencontrées dans la réalisation de la tâche. Pour Béguin (1997) par exemple, les difficultés que les opérateurs CAO rencontrent lors de l'utilisation de leur outil découleraient de l'impossibilité qu'ils rencontrent de mettre en oeuvre des schèmes d'utilisation identiques à ceux mobilisés autrefois lors de l'usage du papier/crayon. De notre point de vue, la situation a encore évolué durant ces quinze dernières années et il se pourrait plutôt que plusieurs schèmes d'utilisation coexistent.

Enfin, on ne peut aborder ces théories sans évoquer les notions de :

- catachrèses des objets médiateurs, qui surviennent dès que les outils ou représentations voient leurs usages détournés de ce qui était initialement prévu - et, par extension, dès que l'on applique à un objet un usage qui n'est pas initialement le sien ;
- genèses instrumentales, concept qui englobe les catachrèses de Lefort (1978 et 1982) ; Faverge (1977) et Rabardel (1995, cités par (Bourmaud, 2006)) dans une vision chronologique à plus longue durée ;
- phénomènes d'instrumentalisation, soit *«l'enrichissement des propriétés de l'artefact par le sujet»* (Rabarbel, 1995, p.140) ;

- phénomènes d'instrumentation, qui concernent l'émergence et l'évolution des schèmes d'utilisation.
- redondances des systèmes d'instruments, nécessaires pour une atteinte efficace des objectifs. En effet, «chaque outil remplit généralement sa ou ses fonctions formelles, mais aussi d'autres fonctions. Une certaine redondance est ainsi introduite par l'opérateur dans son outillage (...) qui est ainsi restructuré et organisé et forme un ensemble homogène où se réalise un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité» (Rabardel, 1991, p.128, cité par (Bourmaud, 2006)).

Folcher et Rabardel rappellent les principaux apports d'une approche de l'activité médiée par les instruments (Folcher & Rabarbel, 2004) :

- recentrer les processus de conception autour des schèmes d'utilisation habituels de la collectivité qui sera bénéficiaire du produit de cette conception ;
- introduire des artefacts qui s'adaptent dans l'usage et qui participent au développement de genèses instrumentales ;
- s'inspirer des genèses instrumentales existantes et de la manière dont les utilisateurs ont adapté et adopté les artefacts utiles à la réalisation de leur activité.

La capture des schèmes d'utilisation étant très difficile à réaliser (même sur le terrain et en scrutant les usages dans les moindres détails), nous nous proposons de considérer plutôt les déviations (ou «misuses») et catachrèses qui apparaissent dans l'usage des outils et des représentations. Plus aisées à détecter, elles nous indiquent que le concepteur a dû adapter un outil inadapté à une situation particulière, ou a dû se contenter d'un outil qui n'est pas initialement prévu pour réaliser une tâche particulière. Elles sont donc les indices qui nous permettront de décider si un usage doit être respecté et reconduit ; modifié ou totalement remplacé par un mécanisme plus adapté.

### 1.7. Modèles de processus cognitifs

En parallèle de la présentation des principales théories structurant l'étude de la conception (présentation non exhaustive mais déjà représentative d'une certaine diversité), il nous faut présenter la manière dont les processus ont été modélisés. Plusieurs auteurs, dont nous faisons partie, n'ont pas pour objectif de proposer de nouvelles hypothèses explicatives des phénomènes de la conception mais tentent plutôt de modéliser le processus qu'ils ont l'occasion d'observer. Les nombreux modèles qui en découlent peuvent être classés selon deux critères : d'un côté, les modèles peuvent être prescriptifs ou descriptifs et, d'un autre côté, ils peuvent être procéduraux ou itératifs.

Les modèles prescriptifs sont linéaires et séquentiels. Le processus de résolution de problème y suit un axe abstrait, généralement découpé en plusieurs phases : tout d'abord une première étape de génération de solution (partielle et intermédiaire), suivie par une évaluation de celle-ci qui mène à la génération d'une meilleure solution. Les modèles descriptifs, moins linéaires et plus détaillés, couvrent eux rarement la

globalité d'un processus de conception et se concentrent sur des aspects plus particuliers, comme par exemple la gestion des contraintes (Darses, 1994), ou encore la réutilisation en conception (Visser & Trousse, 1993 ; Détienne & Burkhardt, 2001).

Certains théoriciens parviennent à définir des méta-modèles relativement complets qui ne s'attèlent plus à la description détaillée d'un aspect précis mais tentent d'embrasser plus largement certaines facettes de la conception. C'est le cas par exemple de la théorie C-K de Hatchuel et Weil qui se concentre sur l'articulation entre des espaces de concepts (C) et de connaissances (K - knowledge) ainsi que sur un set de quatre opérateurs qui suffiraient à modéliser la génération de nouveaux objets et de connaissances nouvelles, propres à la conception (Hatchuel & Weil, 2009).

Les modèles procéduraux, ou en étapes, présentent le processus de conception comme une suite de paliers qui sont traversés consécutivement dans un ordre particulier (ce qui fait des modèles en étapes une sous-catégorie des modèles prescriptifs). Une fois translatée en méthode, chaque étape d'un de ces modèles doit être achevée avant que la suivante ne puisse commencer et, une fois une étape réalisée, on ne peut plus y revenir. Ces modèles procéduraux présentent donc les activités de conception comme une suite d'opérations qui doivent être réalisées par le concepteur en vue de réaliser cette activité. Parmi les auteurs ayant contribué à la définition de ces étapes, on peut citer Blessing (1994) qui en distingue 3 principales :

- la définition du problème, qui résulte en l'appréhension de celui-ci et d'une liste de pré-requis ;
- la génération de concepts et/ou de solutions ;
- la conception de détail et de finition, qui mène à une description complète du produit.

Mais Blessing n'est évidemment pas la seule auteure ayant proposé son modèle. Nous complétons ici, en figure 14, un tableau emprunté à Visser (2006) :

Auteur ou Source	Etape 1	Etape 2	Etape 3
Simon (années 1980)	Structurer et analyser	Résoudre le problème	
Schön (années 1980)	Nommer/cadrer	Evoluer	Evaluer
Modèles classiques	Construction de la représentation du problème	Génération de la solution	Evaluation de la solution
Jones (1984)	Analyser	Synthétiser	Evaluer
VDI Guideline 2221 (1987)	Analyse du problème et définition	Synthèse du système	Analyse du syst., évaluation et prise de décision
Hamel (1989 ; 1995)	Analyser	Synthétiser	«Mouler»
De Groot (?)	Perception et observation	Essayer	Evaluer
(Goel, 1995)	Conception préliminaire	Affinement	Mise en détail
(Cross, 2000) ; (Baxter, 1995)	Concevoir	Concrétiser	Détailler
(Ulrich et al, 2003)	Concevoir	Définir les niveaux du système	Détailler
(Press et al, 2003)	Concevoir	Développer le prototype	Conception Finale
(Pipes, 2007)	Générer les concepts	Développer la conception	Spécifier

Fig. 14 -«The cognitive artefacts of designing», Willemien Visser, 2006, p. 34 ; complété de (Self, Dalke, & Evans, 2009) en italique.

Ce tableau souligne l'évolution historique des points de vue : on passe effectivement d'une vision que l'on pourrait qualifier de «rationnelle» ou «structuraliste», à une approche plus «indéterminée», qui intègre des notions de «conception» et de «perception».

Bonnardel ajoute que les phases du processus peuvent se chevaucher, que des représentations externes intermédiaires sont souvent utiles au concepteur afin de mieux appréhender la complexité du problème, se soulager d'une charge cognitive trop importante et de redécouvrir le problème sous un angle neuf (Bonnardel, 2006). L'analyse de l'évolution de ces représentations externes révèle souvent que le processus est effectivement bien plus itératif : il intègre en effet plusieurs étapes relativement distinctes mais lie celles-ci de plusieurs boucles qui figurent la possibilité de revenir en arrière, à de nombreux stades du processus.

Cette classification des modèles n'englobe pas toute la diversité des modèles que l'on peut rencontrer dans la littérature. Dubberly, Baker, Reposar et al. (2004), dans leur livre, en proposent une riche collection : 24 modèles linéaires ; 32 modèles linéaires mais intégrant des boucles itératives ; 3 modèles en arbre ; 7 modèles en spirale ; 8 circulaires et 12 modèles des plus variés. Au delà d'une certaine volonté de



se distinguer par l'originalité du formalisme, cette variété de modèles traduit la multiplicité des points de vue que l'on peut porter sur le processus de conception et surtout l'évolution de ces points de vue au fil du temps. Cette diversité est résumée en figure 15 par Blessing (1995, dans (Darses, 2004)).

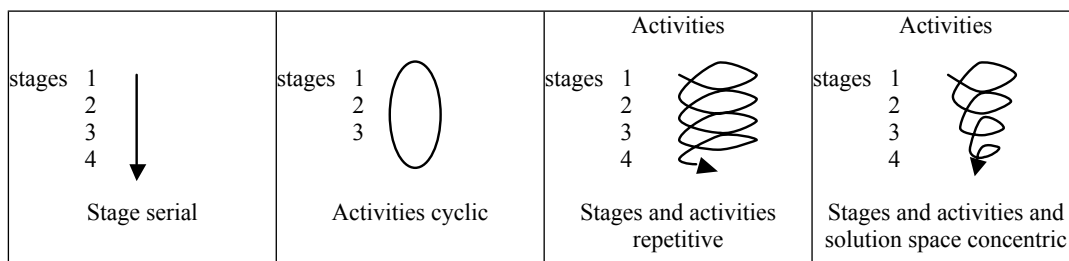


Fig. 15 - Modèles itératifs du processus de conception, Blessing, 1995.

Quelques illustrations d'un modèle prescriptif itératif aideront à mieux comprendre les classifications précédemment exposées (Samuel & Weir, 1999). Le premier modèle (à gauche, figure 16) présente la nature cyclique et interconnectée d'un processus qui, s'il constitue le squelette d'un projet, peut s'avérer particulièrement utile pour garder trace de toutes les étapes d'un projet et leurs interconnections. Le second (à droite, figure 17) présente une version simplifiée, représentation linéaire et procédurale d'un processus similaire. Cette abstraction du projet permet d'attirer l'attention du lecteur sur l'évolution «divergente/convergente» d'une résolution de problème. Il souligne également la nécessité, exprimée par certains auteurs, de séparer clairement les phases de génération de solution de celles d'évaluation.

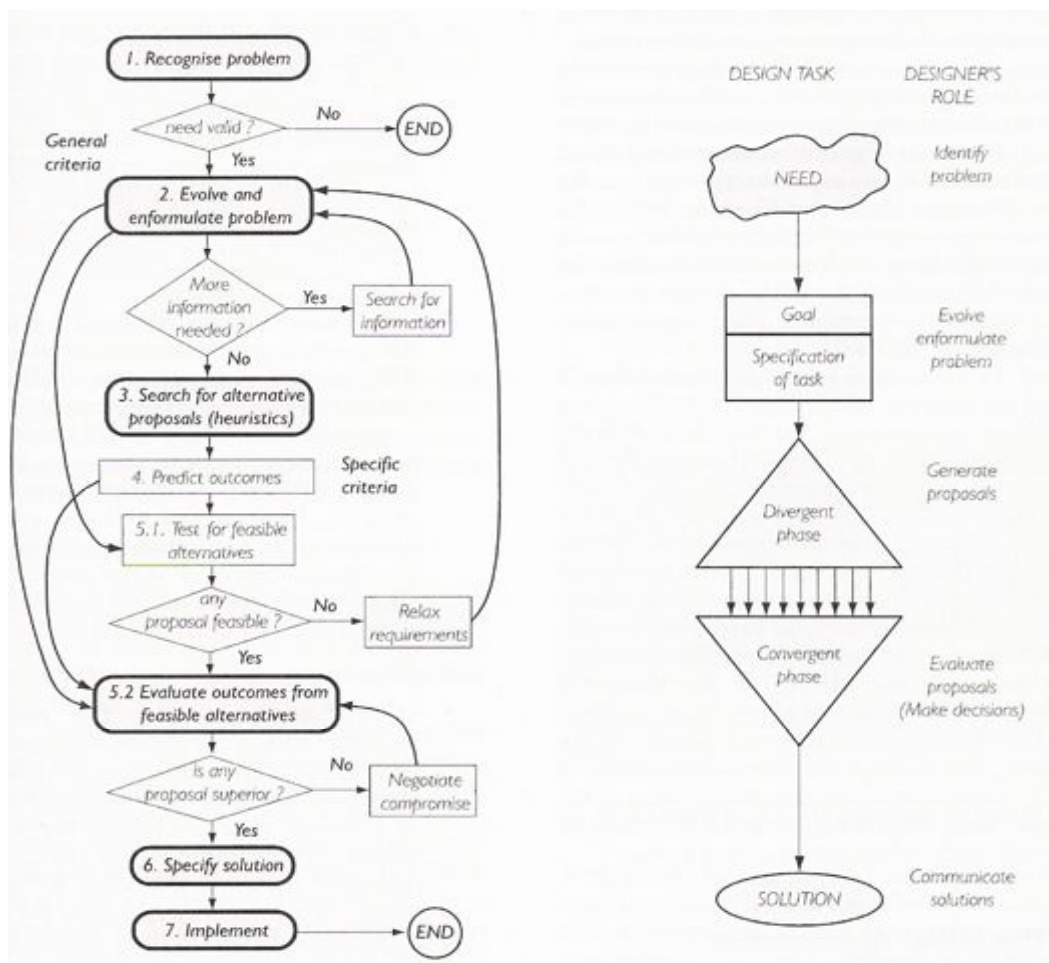


Fig. 16 et 17 - Extraites du livre «Introducing to engineering design», Andrew Samuel et John Weir, 1999, p. 293.

Ces diagrammes sont composés des étapes suivantes :

1. Reconnaissance du problème et déclaration de l'existence du problème à résoudre.
2. Evolution du problème et reformulation (en parallèle avec appréhension de la tâche de résolution) : le problème est alors «frontiérisé» et sa nature analysée, en tenant compte de son caractère incomplet et mal-défini.
3. Génération de la solution : la phase divergente de la résolution du problème est entamée, en étroite relation avec l'évolution de l'appréhension du problème.
4. Prédiction des résultats : modélisations et estimations sont effectuées de manière à comparer les différentes alternatives possibles en termes de paramètres opérationnels. Cette phase est plus rarement appliquée.
5. Evaluation de la faisabilité des alternatives : les propositions qui répondent à la majorité des objectifs et qui contraignent les frontières du problème sont sélectionnées. On entre alors dans la phase convergente du processus de décision.
6. Spécification de la solution : les éléments de la solution finalement sélectionnée sont détaillés.
7. Implémentation : test du (des) prototypes et évaluation finale.

### 1.8. La conception collaborative

Les projets de conception, de plus en plus complexes, font appel à diverses compétences, parfois distantes et il est rare qu'un produit reste actuellement le fruit d'un individu concepteur isolé. La conception collaborative fait l'objet de nombreuses recherches, principalement ces dernières années et devient un enjeu de taille dans une économie où la globalisation et la dispersion des équipes est la norme. L'étude de la conception collaborative révèle l'existence de nouvelles complexités, inexistantes en conception individuelle. Pour Folcher par exemple (2003, p. 665), *«la conception apparaît comme la production des activités d'une communauté d'acteurs ayant des compétences, des origines et des préoccupations hétérogènes, tout comme la situation dans laquelle ils agissent et testent l'artefact conçu»* (traduction libre). Theureau et Jeffroy (1994, dans (Leplat, 2000)) pour leur part soulignent que *«l'activité collective reste une entité en tant que telle, qui ne se résume pas à la simple addition des individus qui la constituent»*. Ils sont rejoints sur ce point par Decortis et Pavard (1994, dans (Leplat, 2000)) : *«(...) la structure globale de réalisation de la tâche va émerger des interactions locales des membres»*.

La collaboration peut exister dans différents contextes : locaux et synchrones bien entendu, mais aussi synchrones distants ou asynchrones distants. Elle peut également poursuivre différents objectifs : concourir à la mise au point d'une idée neuve (réunions organisées spontanément ou plus structurées, via des techniques telles que le brainstorming) ; passer en revue l'état d'avancement d'un projet ou simplement mettre tous les participants au courant de données importantes (synchronisation cognitive). Tous ces contextes concourent à la compréhension des mécanismes complexes de la collaboration tout en apportant à l'étude leurs spécificités. Voir par exemple (Burkhardt et al., 2008) ; (Grégori & Brassac, 2001) pour l'étude des interactions langagières ou encore (Dameron, 2002; Perry & Sanderson, 1998) pour une approche plus sociale des outils comme structure d'échange collaborative.

Mais avant de considérer les principaux aspects d'une conception collaborative, il nous faut nous pencher sur son vocabulaire. Il subsiste en effet encore aujourd'hui une certaine difficulté d'homogénéisation des termes utilisés, ce qui s'explique, d'après Barthe et Quéinnec (1999), par l'extrême diversité des situations de travail et de modes de coopération examinés. Pour la désignation du groupe, nous opterons pour la terminologie «d'équipe (effective) de travail» de Leplat (1993, dans (Barthe & Quéinnec, 1999)), constituée des acteurs «réels», c'est-à-dire exécutants de l'activité collective. Cette équipe, toujours selon le même auteur, effectue une activité collective et ce dès que l'exécution d'une tâche entraîne *«l'intervention coordonnée de plusieurs opérateurs»*. Barthe et Quéinnec soulignent les deux aspects essentiels de l'activité collective inclus dans cette définition : les opérateurs se partagent la même tâche (même but commun, mêmes conditions de travail) et leurs activités sont interdépendantes. Le but général restant commun (interférences de buts au niveau des résultats, des procédures, facilitées par l'action du collectif), les sous-butts peuvent cependant varier entre acteurs. On parle alors tantôt de coaction (Leplat & Savoyant, 1983) ou de coopération distribuée (Rogalski, 1994, tous cités par (Barthe &

Quéinnec, 1999)). Mais au vu du flou qui règne toujours autour de ces termes et étant donné que nous n'observerons que des équipes dont le but ultime partagé est conscient (concevoir ensemble, en équipe, un produit), nous opterons pour les termes suivants :

- *co-conception* ou *collaboration* pour une résolution conjointe du problème, les objectifs personnels de chacun pouvant être distincts (échanges de point de vue et synchronisation vers une négociation et un choix, voir plus bas) ;
- *conception distribuée* pour les phases de résolution individuelle des sous-tâches attribuées (Darses & Falzon, 1996, in (Darses, 2009)) ;
- *coopération* lorsque les opérateurs partagent, pour un instant plus ou moins long, un objectif commun (participation à une oeuvre commune).

La notion de coordination (opérative et organisationnelle) sera également évoquée, processus par lequel les opérateurs coordonnent leurs actions, les agencent les uns aux autres en fonction des délais, de la logique opératoire et des moyens à leur disposition.

Leplat (2000) distingue différentes composantes de l'activité collective : une composante orientée vers l'objet à traiter (matériel et symbolique), une autre orientée vers l'activité des autres (un opérateur dépend de l'activité des autres et influence à son tour la leur) et une composante orientée vers le(s) outil(s) médiateur(s) de cette collaboration. D'autres caractéristiques générées par le caractère collectif de l'exécution des tâches et que nous nommerons «les modes de fonctionnement du collectif», existent en parallèle :

- *la répartition des tâches*, qui relève d'une part du niveau organisationnel mais peut aussi être issue des relations interindividuelles. Ces négociations informelles conduisent à ce que de Terssac (1992, cité par (Barthe & Quéinnec, 1999)) appelle une «organisation clandestine» du travail (notion mise en relation avec les marges de manoeuvre, l'autonomie) ;
- *la communication au travers de divers «outils médiateurs»*, matériels ou non, tels que le langage, les représentations externes, les moyens de télé-communication,... Au travers de ces «hypercommunications» (Weil, 1999, dans (Darses, 2009)) va se développer un «langage opératif» (Falzon, 1995, cité par (Barthe & Quéinnec, 1999)), constitué de mots spécialisés qui simplifient et rentabilisent la communication ;
- *la construction d'un référentiel commun* : le collectif, au fur et à mesure de sa tâche commune, va construire un référentiel commun, soit une «représentation fonctionnelle commune aux opérateurs, qui oriente et contrôle leur activité individuelle au sein de l'activité collective» (Leplat, 2000, p.112). Cet auteur parle également «d'intersection des représentations fonctionnelles des opérateurs participant à la tâche collective», intersections qui peuvent mener, comme nous le verrons plus tard, à des interprétations hasardeuses. Ce référentiel commun constitue une synergie de données et de connaissances partagées, accessibles à tous et est construit principalement lors des activités de synchronisation. Cette zone de partage prend

- plusieurs dénominations suivant les auteurs : représentation fonctionnelle partagée (Grusenmeyer, 1995; Leplat, 1991) ; référentiel opératif commun (de Terssac & Chabaud, 1990) ou encore image opérative collective (Troussier, 1990) ;
- ces activités de *synchronisation cognitive*, comme l'expliquent Darses, Détienne et Visser (2004), se construisent principalement lors d'évaluations mutuelles, de réajustements, d'apprentissages par un partage de connaissances (buts, connaissances du domaine ou pratiques de conception). Y concourent également les négociations, le partage des points de vue (voir à ce propos les travaux de Wolff et al, 2005 ; Darses, Détienne, Falzon & Visser, 2001 et Amalberti, Falzon, Rogalski & Samurçay, 1992, cités par (Darses, 2009)), la construction de l'argumentation (Darses, 2001 ; Darses, 2004) et l'enrichissement des solutions proposées. Ces activités seraient «l'épine dorsale de la résolution collective d'un problème de conception» (Darses, 2004). Notons au passage que cette synchronisation cognitive et ce partage d'un référentiel commun, de plus en complexe et complet au fur et à mesure que les projets s'enchaînent, mèneront à des redondances, qui permettront aux concepteur de détecter certaines erreurs (Hutchins, 1995) ;
  - des *phénomènes de régulation* apparaîtront également, par «cumul ou transfert des tâches» (Navarro, 1991), régulation de données «externes» (liées aux conditions de travail et aux flux de données) ou «internes» (relatives aux différences des individus) ;
  - des phénomènes d'organisation de la séance collaborative, qui traduisent tous les mécanismes de construction de la participation (ou non participation) : régulateurs d'attention ; tours de parole ; interventions inachevées ; postpositions (qui rassemble toutes les activités remises à plus tard) ; interventions humoristiques, apartés, ... (Cahour, 2002).

Nous n'oublions pas les processus rassemblés sous le thème de phénomènes de groupe. Cette couche relationnelle, extrêmement importante pour l'étude de la construction d'un collectif par exemple, ne sera pourtant pas considérée en profondeur dans le cadre de ce travail. Les collectifs que nous examinons lors de nos études sur le terrain travaillent en effet depuis suffisamment longtemps ensemble pour que nous puissions considérer les relations interpersonnelles, les concurrences, ... plutôt comme un item d'entrée, construisant les contextes de travail. Seul le leadership pourra apparaître de façon plus récurrente, car il impacte directement, comme nous le verrons, la répartition des tâches, l'utilisation des outils et représentations de la médiation.

La notion de médiation de l'activité par les outils et représentations apparaît tout aussi cruciale pour les activités de conception collaborative que pour celles individuelles. La plupart des travaux portés sur la compréhension des mécanismes du travail collaboratif s'intéressent très rapidement aux représentations qui se construisent et s'échangent lors de ces activités, ainsi qu'aux outils et méthodes utilisés comme interface de travail. Une large communauté d'auteurs s'inscrit par exemple dans le champ de recherche du Computer Supported Cooperative Work (CSCW), qui

comme son nom l'indique tente de mettre au point des outils (le plus souvent des logiciels) de soutien aux activités collaboratives (Elsen & Leclercq, 2008; van Leeuwen, Peralta, & Sampaio, 2008). D'autres auteurs construisent en parallèle de très intéressantes expérimentations comparant l'efficacité de plusieurs outils (traditionnels tels que le papier-crayon ; numériques actuels ou prototypes de recherche tels que des environnements immersifs) comme soutien à l'activité de conception collaborative (Gabriel & Maher, 2002 ; Dorta, Lesage, & Pérez, 2009).

L'analyse des outils, représentations et des rôles qu'ils jouent au sein du processus collaboratif génèrent également de nouvelles propositions à caractère plus théorique. Ainsi, les concepts d'objets intermédiaires, d'objets frontières, de représentations partagées,... font leur apparition. Cette nouvelle grammaire souligne la place centrale et cruciale de ces objets, situés entre plusieurs étapes, acteurs et éléments du contexte (Darses, 2004). Leur capture tout au long d'un processus permet d'évaluer les modalités du travail collaboratif : mise en évidence du séquençage, de la répartition des tâches, le rôle des représentations, ... (Vinck & Laureillard, 1996). Ces auteurs listent également l'ensemble des rôles que peuvent prendre les objets intermédiaires ou frontières : rôle de porte-parole et rétrospective (capture de toutes les modifications) ; rôle prospectif (soutien d'un objet qui est en train de naître) ; rôle commissionnaire et de médiation ; rôle prescriptif, ou encore de facilitation des interactions, confrontations et interprétations.

Bugeaud, Giboin et Soulier (2010), quant à eux, tentent d'évaluer l'efficacité des représentations partagées comme soutien à la collaboration et résument les travaux de trois équipes de recherche à ce sujet. La première, celle de Carlile (2002), classe l'efficacité des représentations partagées selon trois principes :

- le niveau syntaxique : les objets frontières fournissent un langage opératif commun aux acteurs en présence ;
- le niveau sémantique : les objets frontières supportent la confrontation de sens différents, parfois contradictoires, permettant ainsi aux acteurs en présence de prendre connaissance d'autres interprétations et d'autres points de vue ;
- le niveau pragmatique : les objets frontières voient leurs contenus adaptés, adoptés et évoluer en fonction des besoins. Ils facilitent le processus de conception collaborative.

Fong (2007) lui attribue aux objets frontières 10 caractéristiques qui peuvent contribuer à leur efficacité en tant qu'interfaces de communication : leur caractère véhiculaire, leur granularité, leur «fraîcheur», leur malléabilité, leur inclusivité, leur synchronisation (en termes de propagation de l'information d'un objet à un autre), leur importance, leur caractère compréhensible, leur traçabilité et enfin leur accessibilité.

La dernière approche, celle de Holford et ses collègues (2008), s'intéresse enfin au caractère actif et dynamique de l'objet, soumis à l'action de son utilisateur. L'objet frontière devient co-construit, co-négocié par différents acteurs, devient le support d'une négociation et d'une présentation constante de concepts et doit sans cesse

évoluer pour être constamment en adéquation avec l'objet de l'activité et les connaissances des acteurs en présence. Dans le cadre précis de ce projet de recherche, nous nous limiterons à l'étude de ces objets frontières (ou médiateurs) en conception collaborative et en situation synchrone, locale et présenteielle, telle que nous la rencontrons sur le terrain<sup>14</sup>.

### 1.9. Méthodologies et modes opératoires en conception

Avant de clôturer cette revue de l'approche cognitive de la conception, introduisons quelques méthodologies à disposition des concepteurs pour supporter le processus d'émergence créative. L'introduction de telles méthodes de travail peut se faire à deux niveaux (Cross, 2000). Le premier niveau est la formalisation des procédés. Cette formalisation permet au concepteur d'aller droit au but, évitant ainsi certaines redondances dans la réflexion et ouvrant les perspectives de faisabilité. Le second niveau est l'externalisation de la pensée. L'extraction des réflexions internes (vers le papier par exemple) permet en effet de faciliter la communication avec des tiers et de libérer le concepteur d'un certain niveau de complexité. Deux grandes familles de méthodologies existent et peuvent être appliquées à ces deux niveaux. Tout d'abord les méthodes *créatives* : le brainstorming, l'approche par les perspectives multiples ou la méthode des «six chapeaux» (de Bono, 1985) qui aident à générer un grand nombre d'idées, ou encore les synergies, travail collaboratif sur une thématique spécifique. En second lieu, les méthodes dites *rationnelles*, comme l'utilisation de check-lists, de matrices ou d'arbres décisionnels. Ces méthodologiques s'adaptent à de nombreuses phases du travail. En particulier, elles peuvent aider à :

- clarifier les objectifs : les check-lists seront par exemple bien adaptées à l'établissement des listes d'objectifs (aussi en sessions collaboratives), à discerner l'important du secondaire et à organiser les éléments en hiérarchies ;
- établir les fonctions : de même, on pourra lister les fonctions qu'un objet devra réellement remplir ;
- déterminer les caractéristiques : la méthode des matrices par exemple peut être appliquée. Une matrice peut reprendre à la verticale, les demandes du client et à l'horizontale les contraintes d'ingénierie et de conception. Chaque compartiment exprimera alors une possible interaction et connexion, mettant en avant les éléments prioritaires et les décisions à prendre.

Parallèlement à ces méthodes élémentaires, on peut trouver des structures plus complètes comme la Conception Centrée Utilisateur (méthode CCU, formalisée dans la norme ISO 13407), la Conception Participative (CP, méthode développée initialement en Suède) ou, plus récemment encore, la Conception Participative par

---

<sup>14</sup> Pour rappel, nous n'étudions les collaborations homme-homme que dans l'objectif d'une compréhension globale des phénomènes, pour la mise au point d'une assistance homme-machine (cf. section 3.1 du chapitre 1).

Moments (se basant sur une syntaxe de type UML - Unified Modeling Language, voir les travaux de (Caelen, 2009))<sup>15</sup>. D'après Cross, même si ces méthodes peuvent apparaître comme triviales de prime abord, elles permettent au concepteur de laisser l'acte créatif de côté pour un instant, afin d'y revenir plus tard avec une approche plus rationnelle et structurée. Elles constituent en somme des propositions de bonnes pratiques de conception (Blessing, 1994 ; Pahl et al, 1999, cités par (Darses, Détienne, & Visser, 2001)), mais sont rarement pleinement efficaces et surtout en adéquation avec les processus cognitifs réellement mis en oeuvre par les utilisateurs.

## 2. Et le design industriel dans tout cela ?

Nous repositionnons le design industriel et ses spécificités au sein des modèles théoriques qui viennent d'être présentés et tentons de définir les frontières de notre propre proposition, façonnée par une association de plusieurs de ces approches théoriques.

La plupart des théories et modèles de la conception qui viennent d'être présentés ont été construits sur base des activités de conception et de résolution de problème de sujets architectes, mécaniciens, électriciens ou logisticiens (exploitant des schémas simples tels que les diagrammes pour résoudre leurs problèmes). Le design industriel a généralement fait l'objet de moins de recherches et, pour l'expliquer, il nous faut nous pencher sur les points communs des disciplines favorites. Un de ceux-ci est la dimension de l'externalisation généralement invoquée :

- le plan en architecture, comme nous le verrons plus loin (cf. section 4.3 de l'état de l'art sur les représentations) ;
- l'élévation, en articulation avec les autres vues orthogonales du projet, pour l'ingénierie mécanique ;
- le schéma simplifié en électricité.

Ces représentations externes se développent en deux dimensions, sur un support 2D lui aussi. Or il semblerait que ces surfaces planes (et orthogonales) de référence facilitent la mise au point de plusieurs systèmes d'assistance, ce qui peut expliquer la moindre popularité du design qui fait, comme nous le montrerons plus tard, moins souvent appel à ce genre d'externalisations. Une autre raison qui peut justifier l'intérêt prononcé pour certains domaines est l'existence d'une certaine universalité dans les codes graphiques utilisés : les architectes et électriciens s'expriment au travers de traits, de symboles, auxquels une sémantique précise peut être associée (voir les travaux de (Leclercq, 1996 ; Leclercq, 2005) par exemple). Respectivement en mécanique, ce sont

---

<sup>15</sup> Bien d'autres méthodes de soutien aux phases créatives existent, comme la méthode TRIZ (acronyme russe pour «théorie de résolution des problèmes inventifs», de Altshuller), mais leur étude sort du cadre de ce travail.



les règles et relations géométriques qui constituent la grammaire de base de la représentation et qui peuvent être donc plus facilement exploitées. Qu'en est-il du design industriel ? Nous pouvons déjà avancer que ni les externalisations ni les codes graphiques utilisés en conception d'un produit ne répondent à ces mêmes critères. Il nous faudra donc prendre en compte la prégnance de la représentation tridimensionnelle et, du reste, nous ne relèverons que très peu de symboles et de codes graphiques qui pourraient construire une grammaire universelle en design industriel et donc en faciliter l'assistance (figure 18).

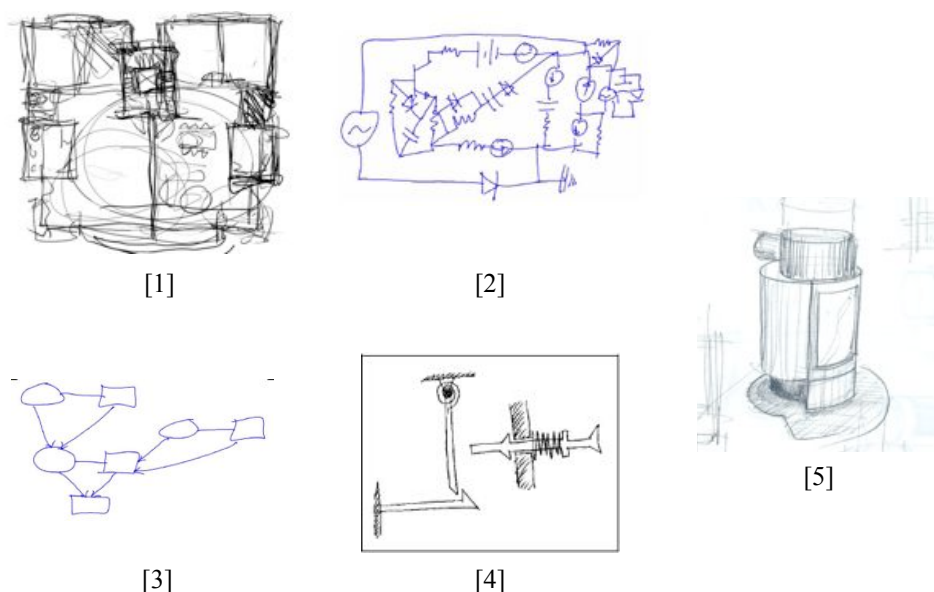


Fig. 18 - La sémantique des traits dans le croquis d'architecte [1] et le schéma électrique ([2] emprunté à (Alvarado, 2004)) ; les codes graphiques du diagramme [3] et du schéma d'un coupe-circuit ([4] emprunté à (Davis, 2002)), en relation avec une axonométrie en design industriel ([5] issue de Pro\_Collab).

Si ces quelques justifications esquissent les raisons d'un intérêt moins marqué porté au design industriel, les théories de la conception développées jusqu'alors en sont-elles pour autant inadaptées ? Nous allons ici lister les spécificités du design industriel (parfois en regard de nos connaissances en architecture), pour nous positionner vis-à-vis des théories antérieures et cerner les limites de notre propre modèle théorique.

Nous l'avons vu en introduction, le design industriel est un secteur jeune et peu mature, pourtant décisif à de nombreux points de vue. Dans son essence, il mêle des considérations esthétiques et artistiques (que l'on peut moins souvent retrouver dans d'autres domaines de l'ingénierie), mais aussi technologiques, économiques et sociales et ce très tôt dans le projet (ce qui est moins fréquent en architecture, par exemple). L'intérêt de la discipline réside dans ses caractéristiques multi-disciplinaires et multi-fonctionnelles et dans la diversité des produits qu'elle recouvre.

Tous domaines de la conception confondus, c'est souvent avec l'architecture que l'on compare le design industriel. L'objectif fondamental des deux domaines est par exemple identique : tous deux tentent de répondre à des besoins réels d'utilisateur finaux, d'améliorer certaines de leurs tâches et/ou de leurs conditions de vie via des

solutions fonctionnellement, techniquement, esthétiquement et culturellement adaptées, ainsi que sécurisantes. La pratique courante d'externalisation des idées sur un support papier ou numérique est également commune. Certaines contraintes traitées sont également comparables (les deux disciplines s'adressent à l'homme dans ses activités au quotidien par exemple).

Plusieurs autres caractéristiques par contre les distinguent. Une des premières différences est la relation que l'homme va entretenir avec l'objet créé. D'un côté les architectes conçoivent des espaces de vie, de travail ou de loisirs, disposent des enveloppes protectrices et exploitent principalement des espaces et leurs relations. Ils répondent à des besoins temporels généralement bien identifiés et conçoivent un objet de vie qui sera la plupart du temps unique dans sa définition et son contexte. Les designers, par contre, manipulent et font manipuler à l'homme (d'une manière certes comparable mais plus directe) la matière, la texture, la forme préhensile, l'icône économique, graphique et sociale. Ils s'adressent le plus souvent au plus grand nombre : plus les consommateurs sont nombreux à acquérir et utiliser l'objet, plus grande est la réussite du produit. Ils peuvent s'adresser aux besoins d'un profil ciblé de consommateurs, mais ils doivent toujours réaliser une étude de marché beaucoup plus vaste pour justifier la réalisation de leur projet. La relation à l'être humain (vu comme un usager mais aussi comme un consommateur) et aux nécessités de production sont donc très différentes.

Une autre particularité du design industriel est l'échelle du projet et le niveau de détail à atteindre. Si un architecte construit un mur de blocs par exemple, il tolère que certains de ces blocs présentent des petits défauts. L'intérêt est surtout l'homogénéité globale du mur, sa résistance, sa stabilité. Le designer au contraire ne peut se contenter d'une analyse qualitative à si grande échelle : les particularités de l'aspect, les moindres détails du produit devront être parfaits et ne souffrir d'aucun défaut. Chaque unité de la production devra en plus être parfaitement identique à la précédente.

D'autres nuances existent et parmi elles on peut faire état de :

- la durée de vie du projet : de quelques années (voire quelques mois) pour un produit industriel, à plusieurs décennies pour un bâtiment ;
- respectivement, la gestion de la fin de vie du projet ;
- les responsabilités en jeu, qui diffèrent en terme d'impact social, économique, juridique, de suivi longitudinal de projet,...
- les compétences techniques et maîtrises technologiques.

On l'a vu, l'objectif principal pour un designer est de proposer une conception qui soit à la fois nouvelle mais aussi et surtout adaptée à la situation (adaptée aux hommes, au marché, aux environnements). Le designer se doit donc de concevoir à différents niveaux conceptuels et répondre à des contraintes nombreuses et variées (Quarante, 2001) comme par exemple :

- le respect des contraintes physiques de base : structure et stabilité, dimensions, espace alloué, limites de poids, propriété des matériaux, consommation énergétique

(de la production à l'utilisation ; développement durable et énergie grise ; ...), puissance, respect des modes opératoires, des contraintes temporelles, respect des normes en terme de pollution, vibrations, dégagement de chaleur, niveau hygrométrique, odeurs ou niveau sonore, ...

- l'adaptabilité aux besoins, l'ergonomie (au sens anthropométrique du terme) ;
- la sécurité ;
- la protection environnementale ;
- la durabilité et la constance des propriétés dans le temps ainsi que la limitation de la dépréciation ;
- l'atteinte des performances attendues ;
- un minimum de maintenance ;
- la facilité d'appréhension, de compréhension du produit (qui doit être idéalement auto-explicatif) ;
- la concurrence ;
- la satisfaction des clients et un certain niveau d'acceptation au sein d'un marché. Selon Swasy (1990, cité dans (Quarante, 2001)), 80 % des nouvelles productions sont en effet des échecs d'un simple point de vue d'acceptation de la part du public. (Dejean & Naël, 2004) citent même à ce sujet le modèle ergonomique couramment utilisé dans les milieux industriels, soit «Acceptability = Utility + Usability + Affordability» ;
- l'exploitation des avantages offerts par la standardisation ;
- la notion globale des coûts : de conception, de production et de mise sur le marché qui doivent rester minimum, considération des coûts temporels (pertes de temps), coûts de maintenance, risques pour la santé (des opérateurs au travail mais aussi des utilisateurs), ...

En parallèle, le concepteur devra considérer d'autres aspects, moins «tangibles» peut-être, tels que :

- l'aspect esthétique et l'harmonie (par exemple le respect des proportions, du rythme) ;
- les facteurs culturels : les habitudes, la religion, les connaissances, ... ;
- les facteurs historique et technologique ;
- les facteurs sociaux d'apparence, de respect des modes et tendances, l'incarnation d'un symbole ou d'une icône,...

Toutes ces contraintes n'apparaîtront évidemment pas dans chaque acte de conception, ou rarement tout du moins. L'interconnexion de quelques unes d'entre elles suffira pourtant à rendre un projet basique extraordinairement complexe.

En terme de processus, la conception en design industriel peut se décliner sur plusieurs niveaux : le designer peut être confronté par exemple à la conception d'un produit totalement neuf ou à une re-conception. Il doit alors, en fonction de la situation, considérer en plus de toutes les contraintes de nombreuses alternatives possibles. Va-t-il supprimer certains composants, certaines fonctions qu'il juge

inutiles ? Sur quels critères se baseront ses choix ? Va-t-il réduire certains composants ou certaines parties ? Simplifier ? Modifier tout ou en partie, par exemple des matériaux, des techniques de production, pour une plus grande efficacité et/ou des coûts réduits ? Si les processus cognitifs sous-jacents indispensables au designer pendant la conception sont certainement les mêmes que pour un architecte, il nous semble que son «monde des possibles» en termes de choix formels, de techniques de production<sup>16</sup>, de sélection des matériaux ou encore de variété des contraintes à gérer est bien plus vaste.

En ce qui concerne les modèles du processus de conception, on retrouve généralement les mêmes étapes principales qu'en théorie de la conception, même si les termes changent quelque peu. On parle d'*ouverture du projet* pour la réception du cahier des charges ; de *pré-étude produit et pré-validation des fonctions* pour la phase d'analyse, de recherche d'inspiration et de conception préliminaire ; d'*étude produit et process* pour la validation du concept choisi via un premier prototype fonctionnel. Le proto définitif (avec toutes ses options, ses accessoires et son emballage) introduit la phase de mise en détail. Celle-ci passe par un *lancement et validation des pré-séries* (à ce moment sont également achevés les dossiers de certifications, les modes d'emploi, l'implémentation des méthodes et du process de montage) ; puis suivent le lancement des séries (premier stock et mise sur pied du service après-vente) et la montée en cadence (où l'on fixe définitivement le prix de revient et l'on clôture le projet).

L'ouvrage «*Design d'objets*» (Blanc et al., 2008) résume quant à lui le point de vue de dix designers professionnels qui décrivent leur manière de travailler plutôt en relation avec les outils qu'ils utilisent :

- la conception intègre la définition des scénarios d'usage ; la recherche d'inspiration et d'information, la réception du cahier des charges, le développement des premiers croquis, les mises en forme 2D ou 3D, appelées parfois le «*design volume*». A ce stade, un dessin peut également être scanné et retravaillé via Photoshop® pour le présenter au client ;
- la «création du produit» apparaît lorsqu'une idée forte est sélectionnée et modélisée, généralement en 3D. Ses formes sont réajustées, affinées, certains détails techniques sont également considérés, certaines variantes peuvent encore être décelées à ce stade et être développées en parallèle ;
- l'industrialisation consiste en la mise en plans de détails pour lancer l'industrialisation. Chaque aspect du produit doit être défini finement dans sa géométrie, ses techniques et son apparence, tout le produit doit être mis aux normes et doit être adapté aux techniques de production, de manière à pouvoir en lancer la production et ensuite la mise en vente.

Un domaine se distingue des autres par les processus particuliers mis en oeuvre : le design automobile. Ce secteur a été étudié en profondeur par Tovey et ses collègues,

---

<sup>16</sup> On trouvera un résumé des principales techniques de production en Annexe 4, en relation avec une présentation chronologique de tous les produits qui ont marqué l'histoire du design et qui révèlent les évolutions que ces technologies ont connues.

qui listent eux aussi les grandes étapes du processus et révèlent un fait étonnant : les maquettes à échelle 1/1 sont introduites très tôt au sein du processus et rythment totalement l'activité (Tovey, 1989). Nous n'étudierons pas ce secteur ici, car il développe des méthodes, processus et vocabulaires très différents des autres secteurs du design industriel. Ces différences sont à imputer en partie au fait que les designers bénéficient d'autres structures, d'autres types de délais et d'autres moyens financiers (Cheutet et al., 2008). Nous retiendrons simplement des travaux de Tovey l'extrême richesse et variété des objets exploités tout au long du processus.

Cet état des lieux des théories de la conception et de la conception dans le milieu expert du design industriel nous pousse à croire que la plupart des propositions développées pour les domaines traditionnels peuvent être adaptées au design industriel. En particulier, nous retiendrons que :

- le designer industriel, de par la multitude de contraintes qu'il doit gérer au quotidien, doit certainement s'intégrer dans une dynamique opportuniste de résolution de problème, mais sans pour autant se laisser guider sans structuration («opportuniste avec épisodes hiérarchiques», (Visser, 2009)) ;
- le processus est sans aucun doute itératif : nous optons donc pour la mise au point de modèles descriptifs et itératifs ;
- l'intérêt particulier que ce projet de recherche porte aux outils et représentations nous convainc d'adopter une vue «réflexive et située» de la conception, dont la construction du processus se révèle au travers de ses externalisations (Visser, 2006) ;
- les méthodologies de travail et l'usage des outils tels que nous les percevons laissent à penser que les contextes jouent un rôle important dans la manière dont va être géré un projet.

### 3. Outils actuels (traditionnels et numériques) en conception industrielle

Après avoir justifié l'importance de tracer les usages des outils, nous nous intéressons dans la section suivante à leurs caractéristiques, leurs classifications, leurs avantages et inconvénients respectifs d'un point de vue cognitif et opératif.

#### 3.1. Classifications des principaux outils médiateurs en conception

Le domaine du design industriel exploite à l'heure actuelle un nombre relativement important d'outils :

- les outils usuels de communication : téléphone, fax, mail, vidéo-conférence, ... ;
- des outils de recherche artistique, comme la peinture, la sculpture, le montage vidéo ;
- quelques outils méthodologiques, comme le brainstorming, les checklists (voir section 1.9 de ce chapitre) ;
- le dessin formel, conceptuel et technique, avec ses annotations : sur un simple support papier, ou sur un support digital type tablette (et via des logiciels tels qu'Alias SketchBook Pro®, Paint® ou Corel Draw®), il permet de développer et faire évoluer les premiers concepts en phase préliminaire d'idéation et de communiquer ses idées (à des collaborateurs, à la clientèle) ;
- les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (disponibles sur le marché et les plus souvent utilisés) : AutoCAD®, ProEngineer®, Rhinocéros®, Studio Max 3D®, Catia®, Cinema 4D®, NX Unigraphics® ou encore SolidWorks®. Ils sont initialement prévus pour les phases aval du processus de conception ;
- les maquettes : non fonctionnelles (c'est-à-dire ne présentant pas les mêmes caractéristiques physiques et cinétiques que le produit final), parfois réalisées à l'échelle 1/1 dans les matières les plus diverses, elles sont utiles en phase d'évaluation du projet via l'approche à la matière et à la volumétrie qu'elles proposent ;
- les prototypes : fonctionnels, ils peuvent être produits traditionnellement (suivant des techniques de production proches de celles qui seront utilisées pour le produit final) ou grâce aux techniques très pointues de prototypage rapide (laser, imprimantes 3D, ...), pour tester certains aspects fonctionnels du projet.

Les trois prochaines sections tentent de mieux comprendre les apports cognitifs respectifs des deux outils les plus fréquemment utilisés par les concepteurs, soit le dessin à main levée et les outils de Conception Assistée par Ordinateur.

3.2. Tableau récapitulatif et comparatif des principaux avantages et inconvénients du dessin et de la CAO - approche cognitive

De nombreuses recherches se sont penchées sur l'étude des avantages et inconvénients respectifs du dessin à main levée et des outils de CAO comme soutiens aux processus cognitifs de conception (amont et aval). Le tableau suivant résume ces principaux constats (figure 19), tandis que les sections suivantes détaillent les caractéristiques particulières de ces deux outils.

Dessin à main levée	Outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur
Avantages	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• est rapide, facile, permet une exploration efficiente de l'espace problème/solution avec un minimum d'effort et un contenu minimal (Cross, 2000)</li> <li>• facilite l'appréhension «d'espaces problèmes» complexes et larges</li> <li>• le caractère opportuniste du processus de dessin (Visser, 2006) et les mécanismes du voir-transformer-voir (Schön &amp; Wiggins, 1992) facilitent les découvertes inattendues, protègent le caractère dynamique de l'exploration</li> <li>• autorise la cohabitation de différents niveaux d'abstraction (Cross, 2000), une certaine ambiguïté et la présence d'incohérences entre plusieurs représentations d'un même objet (Goel, 1995)</li> <li>• constitue par essence une approche sémantique, plurielle dans ses représentations, avec un haut degré d'implicite (Leclercq, 2005)</li> <li>• outille une stratégie en largeur qui se traduit par une proposition de plusieurs alternatives (Ullman, et al., 1990)</li> <li>• conserve, grâce à la mémoire du papier, une trace des essais précédents (la suppression n'est jamais tout à fait complète)</li> <li>• soulage la mémoire d'une charge cognitive (d'exploration spatiale) (Suwa, Purcell, &amp; Gero, 1998)</li> <li>• constitue une véritable mémoire externe opérationnelle, qui soulage la mémoire à court terme interne de tout surcoût cognitif ; constitue une aide mnémonique (Bilda &amp; Gero, 2005)</li> <li>• supporte la communication et participe à la construction d'un système de référence commun (McGown, et al., 1998)</li> <li>• constitue depuis toujours l'interface traditionnelle de conception en phase préliminaire, dite la plus «naturelle» et «intuitive»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• est très puissant pour toute évaluation et calcul de faisabilité : permet d'optimiser, de simuler toutes sortes de réactions à des contraintes multiples (physiques, de production, ...)</li> <li>• permet d'aller beaucoup plus rapidement dans le détail du projet et de détecter rapidement de nombreuses erreurs</li> <li>• permet d'atteindre de hauts niveaux de complexité</li> <li>• permet une visualisation 3D dynamique, qui contribue à une certaine «fécondité heuristique» : soit la possibilité de réagir directement au volume qui se construit sous nos yeux (Lebahar, 2007)</li> <li>• avec modélisation paramétrique, facilite les modifications</li> <li>• l'unification des formats facilite la communication de données techniques et l'échange d'information</li> <li>• peut parfois favoriser des phénomènes de «positive premature fixation» (Robertson &amp; Radcliffe, 2009)</li> </ul>



Dessin à main levée	Outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur
Inconvénients	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• présente un contenu très complexe et implicite</li> <li>• lacunaire, ambigu, très personnel</li> <li>• avant d'entamer son dessin et durant une majeure partie de la conception, le concepteur ne connaît pas le résultat de ses réflexions. Ceci explique le caractère hautement instable des dessins : ils sont modifiés, gommés et présentent un bas niveau de structuration</li> <li>• le dessin doit suivre le courant rapide des pensées et se base dès lors toujours sur des principes d'économie (Leclercq, 2005) : symboles, métaphores, lignes, ... appartiennent souvent à deux ou plusieurs dessins. Le dessin présente cette caractéristique lacunaire typique, associée à une redondance paradoxale, qui le rend totalement compréhensible uniquement par son auteur</li> <li>• reste rigide et statique (représentation non réactive),(Leclercq, 2005)</li> <li>• peut être long et coûteux à réaliser (pour les dessins de communication par exemple), cette «lenteur» pouvant cependant favoriser la maturation des idées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• outille une stratégie en profondeur si utilisé durant le processus de conception préliminaire : moins d'alternatives sont proposées, mais elles sont plus détaillées (Ullman et al., 1990)</li> <li>• interface WIMP pas naturelle, distrait les utilisateurs de leurs tâches principales de conception</li> <li>• peut causer, en cas d'utilisation erronée : perte de documents, problèmes de transferts et incompatibilités, interprétations hasardeuses et parfois erronées</li> <li>• requiert plusieurs mois d'apprentissage avant un usage adéquat (et pas encore expert)</li> <li>• n'est pas adapté à une créativité «opportuniste» : les modèles sont construits sur des modes trop déclaratifs, où chaque élément doit être fixé à l'avance, dans sa forme et ses dimensions. Cette déclaration arrive beaucoup trop tôt dans le processus, n'incite pas le concepteur à une approche redondante et incrémentale (Leclercq, 2005)</li> <li>• les représentations proposées se limitent aux aspects constructifs : en architecture, le logiciel permet d'exploiter éléments d'enveloppe, de structure, alors que l'architecte conçoit bien souvent plutôt des espaces habités (Leclercq, 2005)</li> <li>• peut parfois causer un phénomène de «negative premature fixation» (Robertson &amp; Radcliffe, 2009)</li> <li>• induit des opérations de suppression et de modification beaucoup plus fréquentes (Leclercq, 2005)</li> </ul>

Fig. 19 - Etat de l'art des avantages et inconvénients des deux principaux outils de conception.

### 3.3. Le dessin à main levée : l'outil traditionnel par excellence

Le processus de conception étant avant tout un processus orienté vers la recherche d'un résultat inconnu, il semble difficilement concevable pour un grand nombre d'auteurs de l'outiller uniquement avec des logiciels qui requièrent une définition précise et détaillée du moindre élément à modéliser. C'est principalement à cause de ce pré-requis de précision que les concepteurs feraient toujours appel à des techniques dites plus «traditionnelles», médiateurs intermédiaires capables de soutenir efficacement le processus cognitif de la création (Goldschmidt 1994, Goel, 1995, Suwa & Tversky, 1997, Suwa, Purcell & Gero, 1998, cités dans (Bilda & Gero, 2005)).

Le dessin à main levée a fait l'objet d'un certain nombre de recherches dont l'objectif avoué est la mise au point de systèmes d'interaction homme-machine capables d'augmenter ses actuelles fonctionnalités, pour mieux soutenir le concepteur dans son idéation. Multiples facettes du dessin sont ainsi étudiées, dont notamment ses contenus graphiques, les processus cognitifs auxquels il correspond ou encore ses fonctions au sein du processus de conception (individuel ou collaboratif). Le dessin peut se limiter à l'externalisation d'une image, ou à la représentation d'une réalité, mais reste avant tout efficace pour l'externalisation et le développement des idées (Tversky, 2002). L'idée est simplifiée, modélisée, transformée et la faire vivre au travers d'un support quelconque, comme le papier, rend ces évolutions bénéfiques au processus de conception. C'est ce dessin de conception (d'un objet qui n'existe pas encore, ou du moins partiellement, dans l'imaginaire du concepteur) qui sera considéré ici : nous laisserons de côté le dessin artistique ou de représentation. Le dessin à main levée de conception est lui-même désigné sous de multiples termes, comme «l'esquisse», le «croquis», le «sketch», qui n'ont pas tous la même force sémantique et peuvent parfois mener à des malentendus. Nous avons déjà évoqué plus haut la multitude de significations que peut prendre le terme d'esquisse. Nous l'exploiterons ici dans sa sémantique cognitive de «commencement», comme l'acte d'entreprendre une phase préliminaire de conception. Le croquis, le sketch et plus fréquemment dans cette recherche le terme de dessin, représenteront la représentation graphique externe.

Parmi les multiples classifications du dessin proposées dans la littérature, trois grands types de dessins émergent :

- Le dessin personnel (ou «thinking sketch»), qu'il soit conceptuel, formel ou technique : il est utilisé pour supporter la projection personnelle et l'évolution du produit de la conception. Cette représentation, souvent vague et incomplète, avec des contenus présentant parfois un haut degré d'implicite, est essentielle pour la recherche visuelle identitaire de l'objet. C'est un dessin rapidement exécuté, il n'est pas nécessaire qu'il soit beau pour être efficace (Tovey & Richards, 2004) ;
- Le dessin de communication, que l'on peut parfois associer au dessin de synthèse (dessin synthétique) : le dessin devient ici un moyen de communication, de cristallisation des choix. Des traits plus gras, ou cristallisés, soulignent

généralement les solutions graphiques qui sont conservées (gel de certains attributs) et présentées aux collaborateurs (Leclercq & Elsen, 2007). Le projet peut ainsi être communiqué à la clientèle, ou être utilisé à des fins plus prescriptives, pour guider un collègue dans la suite du projet par exemple. Il peut également être le support d'une communication instantanée : il est alors utilisé durant des échanges entre sujets d'expertises différentes, de manière à faciliter la synchronisation cognitive, la négociation ou la passation d'idées («talking sketch», (Ferguson, 1992)) ;

- Le dessin «pense-bête» (ou «conservé») permet au concepteur de proposer rapidement plusieurs idées (et parfois analogies) qui sont stockées et éventuellement réutilisées plus tard (Schenk, 1991). Ce dessin a en commun avec la catégorie précédente ce gel - temporaire - du processus de conception matérialisé par des traits cristallisés.

### 3.3.1. Les contenus et caractéristiques du dessin.

Il existe autant de types de dessins que de dessinateurs<sup>17</sup>. Tous les dessins présentent des contenus et caractéristiques différents ; il a même été prouvé qu'ils font appel à des compétences différentes (Cham & Yang, 2005). Le dessin conceptuel est pauvre en terme de contenu (traits génériques, imprécis et incomplets) (Leclercq & Elsen, 2007), mais quelques constantes existent pourtant : une grande quantité de traits, plus ou moins flous, plus ou moins distincts les uns des autres et toujours redondants, des points, des croix, des hachures, des flèches, symboles divers, ombrages, niveaux de gris ou de couleurs, ... Ils présentent néanmoins très rarement une unité d'échelle constante.

Plusieurs chercheurs se sont intéressés aux représentations graphiques et à l'échelle du trait. Toute représentation peut être décomposée en un ensemble de traits : l'écriture par exemple est composée de 12 à 14 types de traits (d'après Bar On, 1999, cité par (Tversky, 2002)), tout comme la calligraphie japonaise ou chinoise, mais qui assemble des traits plus courts et répétés. En architecture également, une taxonomie définit un ensemble de traits de base qui peuvent être associés à l'infini pour recréer des structures plus larges (Do & Gross, 1997). Certains auteurs, comme Do (1995) ou Dessy (2002), tentent de définir des règles qui régissent l'utilisation de ces traits de base : les traits brisés seraient plus rares que les traits continus par exemple et plusieurs primitives de base apparaissent régulièrement (le rectangle, le carré, le cercle, le polygone en «L» et l'arc).

Certaines de ces structures et primitives de base forment des symboles, qui sont utilisés chez la plupart des concepteurs en architecture, en ingénierie mécanique, dans le dessin de diagrammes,... Un mécanisme de correspondance analogique associe à ces signes une signification quasi universelle (sémantique commune de l'esquisse) (Tversky, 2002). En architecture à nouveau, les symboles sont depuis longtemps

---

<sup>17</sup> Il n'existe aucune règle en matière de dessin. Quelques prémices théoriques et techniques existent, proposés par les Gestaltistes ou par de talentueux artistes (voir les travaux de Francis DK Ching), mais chaque dessinateur doit développer son propre «coup de patte». Notons que le terme de «dessinateur» est ici entendu comme «celui qui génère le dessin à main levée».

classés et analysés et construisent, en nombre limité, une bonne partie de la sémantique du dessin (Do, 1995). Lorsque les symboles et primitives n'apparaissent pas, l'être humain fait appel à d'autres mécanismes de perception (qui seront approfondis plus loin mais peuvent être résumés dans leur ensemble par les règles de la Gestalt, cf. Annexe 3), qui permettent de reconstruire un tout visuel et de donner une cohérence à l'ensemble des traits.

Dans des disciplines où les symboles sont moins utilisés (comme par exemple, le design industriel ou le design automobile), d'autres taxonomies sont construites. Tovey et Richards (2004) par exemple résument la plupart des traits à deux grandes classes :

- le trait de «style» (nous préférons le terme d'«arête»), qui est primordial dans la définition de la forme et qui est généralement plus épais (très épais pour les arêtes vives, moins épais pour les arêtes internes). Il est aussi décrit par Do (1995), mais cette fois comme de l'*overtracing*, soit une accumulation de traits qui permet au concepteur de retravailler une forme et ensuite de sélectionner un trait après plusieurs essais, d'attirer l'attention (étape de cristallisation, distincte d'après nous de l'*overtracing*) ;
- le trait de hachure, qui ajoute de l'information au sein même du dessin, marque la présence d'une courbe ou indique visuellement une modification de matériau par exemple, mais qui peut être ajouté dans un second temps au cours du processus et dont il est parfois difficile de dire s'il est indispensable au concepteur ou s'il constitue seulement un moyen de communication.

Nous ferons donc appel à la notion de trait «cristallisé» qui, au delà d'une grammaire de traits (trait d'arête ou trait de structure, par exemple) et des mécanismes d'*overtracing*, permet au concepteur de fixer son choix sur un trait ou un groupe de trait qui matérialise temporairement l'option graphique pour laquelle il a opté et qui figure donc un état intermédiaire de l'objet en cours de conception.

D'autres auteurs s'intéressent ensuite aux différents niveaux de granulométrie et d'abstraction des traits. Cinq niveaux de complexité au sein de dessins d'ingénierie sont par exemple définis, chaque niveau ajoutant des caractéristiques graphiques à la «palette» visuelle du précédent (McGown, Green, & Rodgers, 1998 ; Rodgers, et al., 2000) :

- niveau de complexité 1 : dessins en lignes monochromes, pas de couleur ni d'hachures, avec des épaisseurs de traits constantes ;
- niveau de complexité 2 : structure identique, mais les épaisseurs de lignes peuvent varier quelque peu pour cristalliser certains concepts. On peut y retrouver quelques brèves annotations, à caractère personnel ;
- niveau de complexité 3 : dessin monochrome mais avec des hachures, qui suggèrent et définissent la forme. Annotations éventuelles ;
- niveau de complexité 4 : traits et ombrages sont accompagnés de couleurs, parfois en dégradés ;

- niveau de complexité 5 : illustration en couleur, exprimant les qualités visuelles du projet final. La couleur, les ombres, les hachures, les annotations et parfois les cotations apparaissent.

A l'évolution de la précision du dessin correspond, en conception, l'évolution du modèle mental que le concepteur se fait de l'objet en cours de développement (Lebahar, 1983). Ce genre de classification suggère deux phénomènes intéressants pour l'étude des complexités du dessin. Le premier phénomène est l'évolution des niveaux d'abstraction : la représentation peut aller d'un niveau d'abstraction très haut, très schématique (très peu détaillé) à un niveau très détaillé, laissant peu de place à l'abstraction (niveau bas d'abstraction) (Tovey, 1989). Certains auteurs tentent de faire évoluer cette classification des niveaux d'abstraction des traits en une classification des niveaux d'abstraction de grandes «familles de représentations». Tovey, ainsi que Lim (2003), construisent de telles taxonomies et placent par exemple le diagramme dans les schémas peu détaillés, à haut niveau d'abstraction. Nous estimons pour notre part, tout comme (Purcell & Gero, 1998), qu'un diagramme peut au contraire s'avérer extrêmement détaillé dans les liens qu'il crée au sein de son contenu et que ce contenu peut figurer des concepts dès lors à bas niveaux d'abstraction. Il est à noter que les diagrammes font partie des représentations qui ont été le plus souvent étudiées (voir résumé de la question dans (Scaife & Rogers, 1996)), mais ils ne constitueront pas ici les principaux objets de notre étude (car ils sont simplement peu utilisés en design industriel). Ils nous permettent simplement, à ce stade, de souligner la multiplicité et la coexistence des significations et des niveaux d'abstraction que les représentations (même simples) peuvent incarner ainsi que la subtilité que représente la plus banale de leur classification.

Le second phénomène révélé par la catégorisation précédente est l'importance que prend, au cours du développement du projet, la *communicabilité* de l'idée. Beaucoup de chercheurs ne s'intéressent qu'au caractère individuel, ambigu et flou du dessin de conception et négligent le concept du *dessin communicable* (mais pas nécessairement «léché» visuellement) comme étape tout aussi intéressante tant pour la compréhension du processus que pour la mise au point de systèmes d'assistance. En parallèle, la plupart des ouvrages de vulgarisation sur les croquis de designers et/ou les techniques de dessin présentent de magnifiques dessins colorés, avec textures et ombrages, comme étant les véritables croquis opératifs du designer au quotidien. Nous verrons que ces représentations extrêmement travaillées visent plutôt à s'attirer les faveurs du client et sont en réalité ce que les concepteurs appellent les «faux croquis», dessins de vente retravaillés une fois le projet entièrement défini.

Peu de recherches s'attellent à détailler ce caractère communicable de la représentation. Selon les dires des concepteurs, le dessin reste le meilleur moyen de communiquer et l'outil de CAO le pire (Self, et al., 2009). Parmi les critères qui pourraient justifier cette meilleure communicabilité du dessin, seules deux caractéristiques sont analysées en détail : «l'overtracing» pour le transfert efficace des idées (parfois confondu avec la «cristallisation», cf. ci-dessus) et les annotations.

Les annotations, présentes sous forme de notes, texte plus complet, listes, cotations, calculs et petits schémas secondaires, sont étudiées, entre autres, par Schenk (1991) qui souligne leur importance capitale (elle parle même du «tandem» inséparable de l'annotation et du croquis), ou encore dans (Boujut, Darses, & Guibert, 2007; Hisarciklilar & Boujut, 2009; Zacklad, Lewkowicz, Darses, & Détienne, 2003). Guibert (2004) identifie plusieurs de leurs critères décisifs : leur émetteur ; leur forme et support ; leur durée de vie (qui peut varier dans le temps) ou encore leur fonction (citée par (Darses, 2004)). Boulanger, Decortis et Leclercq (2006) qualifient plusieurs de ses fonctions : l'expression, l'identification, la précision, le rappel et la correction. Les annotations outillent la communication de certaines informations contenues dans le dessin, tant vers les autres que vers soi-même et contribuent sémantiquement au dessin auquel elles se réfèrent.

### 3.3.2. Avantages du dessin

Le dessin constitue donc un outil puissant de support à l'idéation. Utilisé par un grand nombre de concepteurs, il permet d'évaluer et reconnaître l'objet représenté, d'extraire et déduire de cette représentation de nouvelles significations qui sous-tendent l'externalisation suivante. Il est utile à tous les stades du processus : la génération de concepts, l'externalisation et la visualisation de problèmes, la facilitation de la résolution du problème et de l'effort créatif, la facilitation de la perception et de la translation d'idées, également ; le stockage et l'affinement des idées (Do, Gross, Neimann, & Zimring, 2000). Certains des avantages (et, plus bas, limitations) qui ont été résumés dans le point 3.2 vont être détaillés ici, mais nous ne saurions être exhaustif tant la littérature abonde à ce sujet.

Le dessin à main levée est donc un moyen d'externaliser des idées, de communiquer et de rendre permanentes des représentations internes que l'on a du produit (Tversky, 2002) et cette génération multiple de variantes parallèles et connectées participe à la construction de la solution finale. Plus simple et moins abstrait que d'autres moyens d'externalisation tels que le langage (Tversky, 2002), le dessin permet d'appréhender de manière très fluide et aisée des systèmes trop complexes, trop larges ou insuffisamment compris (son caractère de «*fluency*» étant considéré comme un de ses principaux atouts (Stones & Cassidy, 2007)).

D'un point de vue mnémonique, le dessin à main levée soulage la mémoire spatiale et visuelle (Bildt & Gero, 2005 ; Scaife & Rogers, 1996 ; Tversky, 2002) et constitue une véritable «mémoire externe». Vicente et Rasmussen (1990) suggèrent que le pouvoir créatif de la pensée serait en effet relatif à l'allègement de la charge mentale. L'externalisation experte de la pensée pourrait donc soulager la concentration et libérer de ce fait des ressources pour la créativité.

Le dessin facilite l'appréhension de signifiants sémantiques et la structuration du processus conceptuel, en conférant à l'exploration simultanée de l'espace problème/solution un contexte harmonieux (van der Lugt, 2005). Cette exploration n'étant pas un processus strictement hiérarchique (bien qu'il existe quelques décisions pré-définies structurantes), le dessin permet au concepteur de se mouvoir librement entre les différents niveaux de détail et d'abstraction (Cross, 2000), lui permet également de

faire des découvertes inattendues et nourrit littéralement le processus de conception. Egalement connu, suite à la théorie de Schön, sous le nom du «see-transform-see», ce phénomène de re-découverte de son propre dessin est rendu possible grâce au caractère vague et implicite de la représentation (Goel, 1995 ; Schön, 1983 ; Schön & Wiggins, 1992 ; Suwa & Tversky, 1996 ; 1997). Ces multiples ré-interprétations concernent tant l'espace problème examiné que l'espace solution (Schön & Wiggins, 1992 ; Suwa, Gero, & Purcell, 2000) et aident le concepteur à identifier les conséquences de ses choix, maintenant l'exploration dans une dynamique continue jusqu'à une convergence vers un doublon problème/solution satisfaisant (Cross, 2000). Une fois cette convergence (qui peut être temporaire et intermédiaire) terminée, le dessin permet encore de tester la complétude de l'idée sélectionnée et sa «consistance interne» (Tversky, 2002).

Enfin, le dessin outille la coordination et la communication rapide entre experts du même niveau (ne nécessitant pas une explicitation de tous les détails). Il permet à une communauté d'observer, de commenter, de collaborer, de réviser des idées (Tversky, 2002) et il supporte la création de systèmes de référence communs. Il est en conclusion un véritable facilitateur du travail collaboratif (Détienne, Boujut, & Hohmann, 2004).

### 3.3.3. Limitations du dessin

La plupart des chercheurs en conception étant favorables aux dessins et les positionnant comme outils incontournables de la conception préliminaire, il est rare de trouver des critiques à leur sujet. On concède au dessin un caractère rigide, statique et lent à exécuter, un seul concept émergeant à chaque étape et la représentation graphique finale n'étant pas réactive. Cette lenteur d'exécution est cependant vue par certains auteurs comme une opportunité pour la conception, parce qu'elle impose un temps de réflexion nécessaire à la maturation, à l'émergence et au contrôle des idées.

Le dessin n'est pas strictement standardisé et les dessins personnels sont particulièrement complexes à faire comprendre, particulièrement par des collaborateurs non expérimentés (Leclercq, 2005). Le dessin peut aussi tromper son propre auteur, lorsqu'il introduit une certaine «distorsion» dans la manière de percevoir les proportions ou certains profils de l'objet représenté (Tovey & Richards, 2004).

## 3.4. L'outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur

Les outils de conception assistée par ordinateur (CAO) regroupent des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement et de réaliser des produits manufacturés à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique. Ces outils se multiplient et les possibilités sont telles aujourd'hui que le concept lui-même se voit multiplié et adapté à toutes les situations de conception au sens large du terme. On liste par exemple des outils de PAO (Production Assistée par Ordinateur), MAO (Manipulations Assistées par

Ordinateur), DAO (Dessin Assisté par Ordinateur)... Nous présenterons ici les principales catégories de logiciels existants. Une description sommaire des principaux logiciels de CAO utilisés en design industriel peut être trouvée en Annexe 5, mais nous ne rentrons pas dans les détails de chaque outil : d'un point de vue théorique cela présente en effet peu d'intérêt (les principes de base étant identiques) et n'oublions pas qu'à l'heure où ces pages seront lues les versions de ces logiciels auront déjà évolué.

Les softwares de Conception Assistée par Ordinateur, considérant les usages pour lesquels ils ont été initialement conçus, peuvent être catégorisés comme suit :

- Les outils de modélisation, très puissants pendant les phases de production : ils sont utilisés pour la définition détaillée du produit de la conception, chaque élément étant conçu dans le moindre détail et les dimensions étant fixées. A ces outils peuvent s'ajouter de nombreux plug-ins d'évaluation, comme des calculateurs de coût, des évaluateurs de résistance thermique et structurelle, ou encore des aides à l'industrialisation, au prototypage rapide. En raison de leur haut degré de précision, chaque action opérée par ce type de logiciels doit être déclarée de façon la plus complète possible : les descriptions floues et incomplètes, les formes plus libres, pourtant propres au stade de conception préliminaire, n'y sont pas attendues. Soulignons qu'en design industriel la modélisation détaillée est réalisée dans un monde 3D (avec des phases de génération de profils et de vérifications dans des plans de structure 2D), à la différence de l'architecture où la modélisation détaillée se construit quasi exclusivement dans un monde bi-dimensionnel ;
- Les outils de rendu visuel : ces outils permettent d'approcher le rendu visuel final de l'objet, tant 2D que 3D et de présenter virtuellement son interaction avec l'environnement (lumière et ombres, réflexions, textures). Aucun modèle technologique précis ne doit expressément sous-tendre cette visualisation. Toutefois, certains logiciels encouragent la réalisation d'une modélisation à la fois photo-réaliste mais aussi précise dans ses dimensions, de manière à dispenser le concepteur de devoir réaliser deux modèles quasi identiques d'un point de vue formel mais pourtant très différents ontologiquement parlant<sup>18</sup>. L'objectif est de produire une image si proche de l'aspect réel du futur objet que tout autre modélisation et/ou prototype en devienne inutile ;
- Les outils de visualisation qui permettent des manipulations dynamiques 2D et 3D sans modification de l'objet. Ces outils sont particulièrement efficaces comme soutien à la communication ;
- Par extension, les outils de traitement et retouche d'images (Illustrator®, Photoshop®), qui permettent de travailler des images 2D (souvent extraites de modèles 3D) et de rendre par exemple des modélisations numériques plus «vivantes», plus accessibles au «grand public».

---

<sup>18</sup> Dans la pratique, les designers disent pourtant pratiquement toujours dédoubler le modèle «visuel» du modèle de production.



### 3.4.1. Les contenus et caractéristiques de la CAO

Les instructions de base sont relativement similaires, en tout cas pour les deux premiers types d'outils (que nous rencontrerons le plus souvent). Ils permettent :

- de dessiner et modéliser en plusieurs échelles et sur plusieurs calques virtuels, diverses formes (géométriques ou non), à partir le plus souvent d'une succession de points, de segments et de plans ;
- de modifier, copier et coller, faire des symétries, ajouter, corriger, translater, tourner, étirer, déformer, supprimer, projeter, de volumes, faces ou traits ;
- d'utiliser des codes de dessin pré-définis et standardisés ;
- de combiner certaines formes de base (connexions de faces, booléens, ...) ;
- et, par extension, de transformer des typologies : suppressions, coupes, intersections, ... ;
- d'utiliser des formes prédéfinies et paramétrables, ou d'en créer qui seront ajoutées à une bibliothèque de base ;
- de concevoir en respectant certaines proportions et cotes, ou au contraire de modéliser en échappant complètement à ces considérations dimensionnelles ;
- de communiquer aisément, de transmettre et échanger de l'information.

Toutes les mesures et propriétés des objets peuvent être paramétrées, de telle sorte que la modifications d'un paramètre peut influencer ou non les pièces connectées. De multiples points de vue peuvent être immédiatement générés et comparés, des rendus visuels divers sont proposés (larges palettes de couleurs, types de traits, degrés d'opacité, ...).

A l'heure actuelle, les outils de CAO basés sur une géométrie descriptive ne sont pratiquement plus utilisés en design industriel, au profit de systèmes basés sur la modélisation géométrique (Company, Piquer, & Contero, 2004).

Diverses techniques de modélisation existent, qui se distinguent selon le procédé de génération de la forme : extrusion, «box modelling», «surface modelling»,... Les désignations sont nombreuses mais correspondent en réalité à deux fonctions :

- les fonctions géométriques (figure 20) : ces modeleurs se construisent sur base de volumes pré-définis<sup>19</sup>. Les formes disponibles sont géométriquement basiques, peuvent être juxtaposées, combinées via des opérations de déformation ou des opérations booléennes<sup>20</sup>, afin de construire des éléments plus complexes. Ces modeleurs sont en général utilisés dans des contextes industriels jonglant

<sup>19</sup> ...qui sont définis par un ensemble de points interconnectés possédant chacun un trio de coordonnées dans l'espace.

<sup>20</sup> Les opérations booléennes permettent de construire des formes complexes grâce à des opérations de calcul très simples : union, différence de deux volumes, ou volume résultant de leur interconnexion.

énormément avec des éléments répétitifs et standardisés (boulons, tubes, ...) qui peuvent provenir de bibliothèques pré-définies, mais sont plus rarement prévus pour la génération de formes libres ;

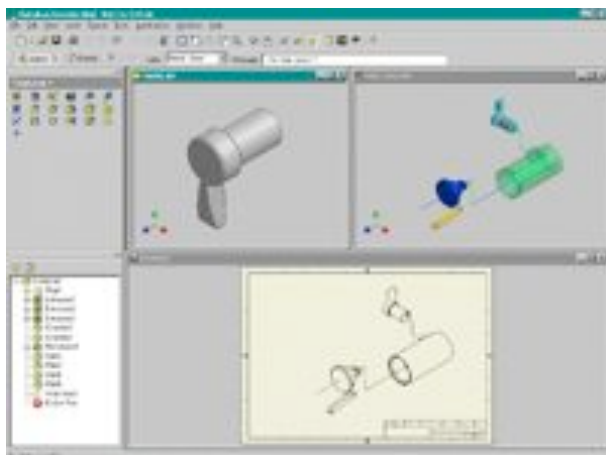


Fig. 20 - Une interface typique d'un modelleur géométrique.

- les fonctions de modélisation surfaciques (figure 21) : l'utilisateur doit créer ou importer un groupe de points (coordonnées calculées, transférées, mesurées), le modelleur générant une surface 2D structurée (en triangles ou polygones, ces surfaces sont dites «meshées», de l'anglais «*meshed surface*») par interpolation mathématique. Les volumes en révolution ou surfaces extrudées sont également très courants.

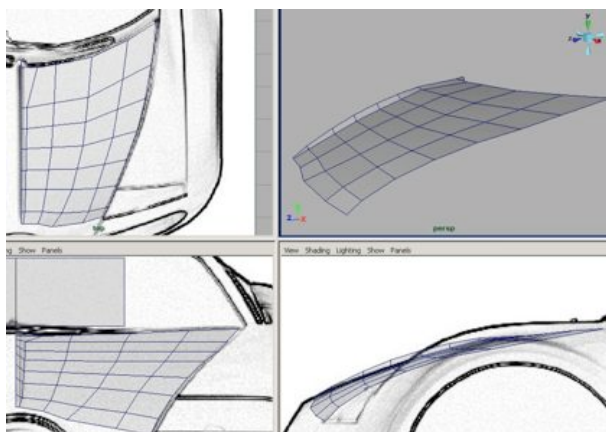


Fig. 21 - Une interface typique d'un modelleur surfacique.

### 3.4.2. Avantages de la CAO

On ne peut nier l'incroyable potentiel des outils CAO existants, ni les possibilités techniques qu'ils offrent au concepteur. En tant que puissants et rapides calculateurs, ils permettent d'obtenir quasi instantanément, pour peu que la modélisation effectuée soit correcte et suffisamment précise, des résultats fiables en termes d'optimisation, paramétrage et vérification de nombreux facteurs. Le concepteur peut ainsi réaliser des

produits présentant un niveau de complexité jamais atteint (toutes les formes et toutes les configurations sont permises, dépassant ainsi de beaucoup les possibilités mentales de visualisation spatiale du concepteur). L'ordinateur peut non seulement supporter la visualisation de ces constructions complexes mais aussi en assurer l'étude technique de faisabilité. Les outils CAO élargissent ainsi les frontières du possible en conception (les contraintes de coût, de faisabilité de production et d'utilisabilité les maintenant néanmoins dans des limites acceptables).

Tout en exploitant ces formes complexes, les logiciels permettent d'aller beaucoup plus rapidement dans le détail du projet et de détecter rapidement des erreurs qui étaient traditionnellement plutôt récupérées au stade du maquettage et du prototypage. Moins d'essais/erreurs sont donc nécessaires avant d'atteindre un résultat acceptable, avec en conséquence une diminution des coûts économiques et temporels. Pour peu que le modèle ait été correctement paramétré (ce qui, nous le verrons, n'est pas aisé et requiert un véritable effort de programmation), la récupération des erreurs s'ensuit d'une modification relativement rapide et aisée.

Avec une formation suffisante, le concepteur peut, dans un laps de temps acceptable, obtenir une vue précise et tridimensionnelle de l'objet en cours de conception. Le produit futur peut ainsi être évalué, appréhendé dans une globalité virtuelle et dynamique plus difficilement atteinte via d'autres outils et l'utilisateur peut très facilement simuler plusieurs variantes (via le changement de couleurs, de textures etc.). Selon certains auteurs, cette visualisation 3D dynamique contribue à une certaine «fécondité heuristique» : le concepteur bénéficie de la possibilité de réagir directement au volume qui se construit sous ses yeux (Lebahar, 2007), phénomène que nous nous proposons de comparer au mécanisme du *see-transform-see* relevé dans l'usage du dessin à main levée. Cette relation directe avec l'objet, si elle peut parfois détourner le concepteur de la recherche d'autres variantes, peut aussi à l'opposé favoriser des phénomènes de *positive premature fixation*, qui apparaissent lorsque le concepteur parvient plus rapidement à contraindre l'espace problème, sélectionner une variante et à mener plus en profondeur la phase de mise en détail (ce qui aurait comme conséquence des produits dont tous les détails sont mieux pensés). L'exploration de l'espace problème est ainsi efficacement contrainte et son coût temporel est réduit (Robertson & Radcliffe, 2009).

Enfin, l'implantation de systèmes CAO au sein de la communauté des métiers de la conception a permis d'unifier les codes graphiques utilisés et de faciliter la communication visuelle et technique des projets (synchrone et présentielle, mais aussi asynchrone et distante).

### 3.4.3. Limites de la CAO

Un consensus semble apparaître en ce qui concerne la Conception Assistée par Ordinateur : celle-ci, bien que constituant un outil puissant de production et de rendu, ne soutient toujours pas efficacement les phases préliminaires de la conception. La CAO, via les multiples et nouvelles efficacités qu'elle engendre, s'accompagne nécessairement, d'après Béguin (1996), d'une évolution des savoirs et de l'organisation du travail. De même le contenu des tâches (Norton, 1981) ; les procédures et besoins

en communication (Hale, 1984) et les structures de l'entreprise (Davine & Richards, 1981) sont impactés (tous cités dans (Béguin, Rabarbel, & Trotta, 1992)). Mais ces évolutions et ces impacts ne sont pas toujours en adéquation avec les besoins réels des utilisateurs.

Les caractéristiques de la CAO évoluent rapidement et, avec elles, les limitations. La littérature datant d'une quinzaine d'années fait état de nombreux aléas qui ne sont plus d'actualité aujourd'hui. Tovey (1989) par exemple, dans le cas particulier du design automobile, recensait la difficulté rencontrée à modifier un modèle, à creuser la matière, la longue attente avant la génération complète d'un modèle etc. Ce que l'on peut regretter encore aujourd'hui, c'est que la CAO par plusieurs de ses aspects reste trop complexe et éloigne d'une manière ou d'une autre le concepteur de sa tâche de conception. Ces outils entre autres reposent sur un processus certes très simple de déclaration d'intention, mais qui ne correspond cependant pas aux processus hautement opportunistes, flous et itératifs des processus de conception tels qu'ils ont été observés lors d'une pratique plus centrée sur le papier et le crayon (Garner, 2000). Respectant les principes sur lesquels ces logiciels ont été bâtis, les concepteurs devraient fixer à l'avance les paramètres de chaque élément (forme et dimensions) et cette déclaration arriverait beaucoup trop tôt dans le processus. Cela n'inciterait pas le concepteur à respecter une approche incrémentale (Leclercq, 2005)<sup>21</sup>.

En terme de résultats obtenus, certaines recherches font état d'une baisse de qualité dans les produits d'une conception menée grâce à la CAO : le nombre de solutions investiguées serait plus limité (phénomène du *bounded ideation* ou du *negative premature fixation* (Bilda & Demirkan, 2003 ; Robertson & Radcliffe, 2009)), les concepteurs étant amenés à cristalliser et approfondir plus rapidement une seule solution, examinant moins le champ des possibles qu'avec une technique papier/crayon. Aussi appelée «stratégie en profondeur», ce phénomène donne donc lieu à moins d'alternatives, mais elles sont plus détaillées (Ullman, Wood, & Craig, 1990). Ceci peut être dû aux dimensions limitées de l'interface «écran», qui ne facilite pas les comparaisons de diverses variantes (pourtant indispensables au processus créatif, (Hewett, 2005)). En parallèle peut apparaître le *circumscribed thinking* : la génération des idées elle-même est impactée par l'outil numérique, si bien que l'utilisateur aurait tendance à réaliser non pas ce qu'il veut vraiment, mais ce qui est le plus aisé de faire avec la machine (Robertson & Radcliffe, 2009).

Des modes opératoires récurrents, tels que l'acte correctif ou la suppression, apparaissent plus dans l'utilisation de la CAO que dans l'utilisation du papier et du crayon (Bilda & Demirkan, 2003), ne respectant de ce fait pas l'aspect non destructif du papier, considéré comme essentiel (McCall, Ekaterini, & Joshua, 2001). Ces outils ne permettent donc pas l'entretien aisé de modèles simultanés, redondants, parfois contradictoires, ne facilitent pas l'exploration de plusieurs variantes (cohérentes entre elles ou non) qui évoluent en parallèle, la représentation proposée étant beaucoup plus univoque (Leclercq, 2005). Ces suppressions et modifications fréquentes limitent

---

<sup>21</sup> Nous nous permettons d'utiliser le conditionnel ici, car il nous semble qu'entre temps les habitudes des utilisateurs ont évolué, qu'ils se sont adaptés aux limitations des outils et que les usages, après examen, pourraient se révéler bien plus complexes.

également la possibilité de capturer le *design rationale*, ou l'historique du projet, pourtant indispensable pour traçabilité des décisions et une gestion efficace du projet.

Dans le même ordre d'idées, le processus de résolution de problème/génération des solutions serait moins richement structuré, l'effort cognitif de l'opérateur étant dévié de cette tâche principale par les problèmes provoqués par l'interface ou l'outil lui-même. Les interfaces de la CAO, pour la plupart basées sur la technologie WIMP (Windows-Icon-Menu-Pointing Device) sont difficiles à manier, ne correspondent pas aux habitudes ancrées de l'utilisation papier/crayon. Le hardware, quant à lui, avec ses dimensions réduites, ne limite pas le support à un travail collaboratif. La gestion des documents relatifs à la conception n'est pas toujours aisée : pertes, dysfonctionnements chronologiques dans le classement des «versions», problèmes de transferts, pertes et incompatibilités, interprétations hasardeuses et parfois erronées sont autant de soucis qui perturbent l'utilisateur. L'aspect quasi-réaliste et très «fini» des modèles numériques fourniraient de plus aux utilisateurs une illusion de complétude du projet, alors que certains aspects seraient encore en pleine gestation (Robertson & Radcliffe, 2009). Nous reviendrons sur cette question dans l'état de l'art portant sur les représentations (chapitre 2, section 4).

La CAO, de par sa complexité, peut parfois mener à des opérations très coûteuses en temps, en coût humain et économique également, principalement pour les utilisateurs novices. La difficulté d'apprentissage de ces logiciels (2 à 3 ans d'usage pour une utilisation standard) provoque de plus une certaine inertie chez le concepteur : là où il aurait auparavant mis plus d'énergie dans l'exploration de l'espace problème/solutions, il se concentrerait plus aujourd'hui sur la résolution de problèmes plus banals provoqués par l'informatique. L'utilisateur serait également tenté d'opter pour des procédures et opérations qu'il maîtrise et qui lui prennent moins de temps. Il serait donc moins enclin à dépenser autant d'efforts pour résoudre le problème mentalement, ou pour opter pour des opérations moins connues mais pourtant plus adaptées (Borillo & Goulette, 2002). Cette inertie locale s'accompagne d'un phénomène plus global : les utilisateurs, une fois habitués à un outil particulier, ne feraient plus l'effort d'en appréhender un autre, parfois pourtant moins complexe. De véritables effets de monopole se dégagent ainsi, laissant le marché dans une inertie totale soumise aux pressions économiques et industrielles.

Enfin et malgré toutes les avancées en informatique et intelligence artificielle (que nous résumerons plus tard), certains processus sont difficilement interprétables et soutenables par l'ordinateur : l'appréciation subjective du projet, l'interprétation totale et correcte de toute géométrie, la perception de *gestalts*, le soutien efficace à l'évaluation, ou encore la conversation avec la matière.

### 3.5. Approche comparative des usages

L'utilisation de principaux outils dans la pratique professionnelle, nous l'avons vu, n'est régie par aucune règle précise : les outils «traditionnels» de conception (dessin, maquette) sont généralement exploités durant les phases amont, tandis que les outils numériques (CAO, prototypage rapide) sont sensés être plus souvent utilisés durant les

phases de mise en détail. C'est sur cette temporalité d'exploitation des outils que semblent se définir les principales phases de la conception. L'objectif de cette section est d'approfondir l'examen de ce postulat : les utilisateurs font-ils effectivement un usage plus intense de certaines caractéristiques des outils à des stades particuliers du processus ? Ces caractéristiques pourraient-elles constituer des indices pour la mise au point de systèmes d'assistance ?

Si l'apport cognitif des outils présenté plus haut est largement référencé, peu de recherches approfondissent par contre une taxonomie temporelle de l'usage des outils. Les seuls travaux qui abordent ces questions sont ceux de Weytjens, Verdonck, Verbeeck et Froyen, qui classent en six catégories les outils utilisés en architecture : les outils de gestion des connaissances ; les outils de communication ; de modélisation ; de présentation ; de structuration et enfin d'analyse et d'évaluation (Weytjens, Verdonck, & Verbeeck, 2009 ; Verdonck, Weytjens, Verbeeck, & Froyen, 2011). Ces auteurs présentent le processus de conception (linéaire mais avec quelques boucles) selon une ligne du temps et placent les outils au droit des grandes étapes auxquelles ils sont habituellement utilisés. En présentant ainsi un panorama temporel des usages, les auteurs omettent cependant de présenter les raisons qui motivent l'usage de ces outils à ces stades. Interrogeant 319 architectes sur base de questionnaires, ils tentent pourtant de traduire les habitudes d'une communauté : leurs résultats révèlent que les outils CAO (2D ou 3D) par exemple sont utilisés autant pour modéliser que pour présenter ; les croquis, eux, sont utilisés autant pour analyser/évaluer que pour modéliser. Soulignons la polysémie du terme «modéliser» qui se dégage de cette recherche : il enferme plus que la simple construction du modèle numérique dans ce cas. Utilisé tant pour la CAO que pour le dessin, il faut l'entendre plutôt comme la construction du concept, d'une idée. La possibilité d'explorer le *modèle conceptuel* d'un projet, tant par l'intermédiaire du papier que de l'ordinateur, fait ainsi son apparition.

### 3.5.1. Evolution des points de vue - l'outil traditionnel de dessin à main levée

Habituellement considéré comme crucial et inévitable pour les phases de conception préliminaire, le dessin à main levée fait pourtant aujourd'hui l'objet de recherches plus critiques. Plusieurs auteurs suggèrent tout d'abord que son usage n'est pas uniquement limité à la conception préliminaire ; il n'existerait pas de moment particulier où le dessin est réellement abandonné (Eissen & Steur, 2008 ; Schenk, 1991 ; Schenk, 2005). La transition se fait de manière plus graduelle, sur un schéma plus itératif, qui correspond finalement mieux à la liberté de choix qu'ont sans aucun doute les utilisateurs.

Poussant plus loin l'examen des propriétés du dessin, Kokotovich et Purcell (2000) remettent en question la place essentielle du dessin dans le processus de conception préliminaire. Dans une expérimentation intégrant 120 sujets (designers industriels ; infographistes et non-designers, jugés par 30 juges-experts) à qui il est demandé de produire des objets «créatifs», tantôt en utilisant uniquement le dessin, tantôt en imaginant mentalement l'objet et en le dessinant une fois imaginé, ils observent que l'usage du dessin n'accroît pas le nombre de solutions jugées créatives.

Les formes les plus innovantes, tant chez les sujets experts que chez les non-designers, apparaissent lors des sessions de créativité par «manipulation mentale» et lorsque le dessin n'a pour fonction que d'externaliser ces idées. Les auteurs énumèrent alors plusieurs suggestions qui pourraient justifier ces résultats pour le moins surprenants. L'une d'entre elles nous semble pertinente : les auteurs observent en effet que cette performance en créativité mentale apparaît surtout chez les designers experts, pour qui il est observé que le dessin est particulièrement utile dans un second temps, dans la phase d'*embodiment*, ou de concrétisation<sup>22</sup>. Ces sujets auraient en effet la capacité de développer d'abord mentalement certaines idées, qu'ils coucheraient ensuite sur le papier pour les développer, les faire évoluer, tester des variantes. Dans le même ordre d'idées, Bilda, Gero et Purcell mettent au point une expérimentation «à l'aveugle» et observent en effet qu'une conception préliminaire est tout à fait possible sans avoir du tout recours au dessin à main levée pour soutenir l'idéation (Bilda, Gero, & Purcell, 2006). Notons cependant que les concepteurs, tant dans une expérimentation que dans l'autre, n'ont que quelques minutes pour imaginer l'objet et encore moins de temps pour le coucher ensuite sur le papier. A cette contrainte temporelle s'ajoute une tâche de conception totalement décontextualisée et bien trop simple, qui ne fait pas appel à un processus de conception complexe et nécessitant le support cognitif offert par l'externalisation.

Anderson et Helstrup, cités dans (Purcell & Gero, 1998), génèrent eux un ensemble de résultats qui tend plus efficacement à prouver que lorsque le dessin est utilisé comme support externe à la mémoire, c'est à dire lorsque le processus créatif est principalement cognitif et se construit surtout d'images mentales, le fait de dessiner n'améliorerait effectivement pas significativement le niveau de créativité du projet. D'après Purcell et Gero, cette «incapacité» de l'externalisation (ici, le dessin) à soutenir le processus créatif n'est que temporaire. Très rapidement vont s'installer des mécanismes de «redécouverte» du projet et réinterprétations de l'externalisation ainsi produite. L'externalisation reprend alors tous ses droits en termes de support à la créativité.

• Ce que nous retenons comme conclusion opérationnelle, c'est qu'il arrive que l'externalisation, à certains stades du processus et pour certaines raisons, ne soit pertinente que dans son rôle de «stockage» temporaire de l'idée qui germe mentalement. En cela, peu importe la manière dont l'idée est stockée : l'important est qu'elle soit toujours accessible, floue et ré-interprétable à souhait. Cette évolution des points de vue ouvre aux outils de CAO «nouvelle génération» un nouveau champ des possibles. Cette *propension à penser solution* dès les débuts du processus de conception préliminaire (Béguin & Darses, 1998) pourrait en effet s'outiller de manière bien différente.

---

22 qui correspond à la sélection d'une idée issue de la conception préliminaire et qui entame la première itération.

### 3.5.2. Evolution des points de vue - l'outil numérique de Conception Assistée par Ordinateur

Certains auteurs commencent à associer aux outils de CAO certaines qualités utiles au sein du processus de conception préliminaire, comme par exemple la rapidité avec laquelle on peut obtenir une visualisation 3D dynamique de l'objet en cours de conception (qu'ils disent utile pour la phase de vérification des concepts, notamment) (Tovey & Richards, 2004).

Dans le domaine du design industriel, Robertson et Radcliffe (2009) récoltent 255 questionnaires et évaluent les impacts (positifs comme négatifs) de l'usage de la CAO au quotidien. En ce qui concerne le choix des logiciels, les designers utilisent pour 1/3 Pro-Engineer® et pour 1/3 Solidworks®. AutoCAD® remporte 14 % des parts du marché, tandis que d'autres logiciels, moins connus et pour la plupart libres d'accès, se partagent les derniers pour cent. Par ailleurs, 60 % des designers disent utiliser la CAO constamment, 28 % la plupart du temps, ce qui corrobore nos premières observations (cf. les 39 conversations présentées plus haut). Ces concepteurs utilisent également plus la CAO que le dessin et ce dès les phases de conception préliminaire. Nous partageons le constat que font ces auteurs à ce sujet : bien que la CAO soit peu adaptée aux phases d'idéation, elle reste pour l'instant le seul outil à leur disposition qui remplisse leurs attentes en termes de rentabilité, de visualisation, de rapidité d'exécution.

L'usage précoce de la CAO comme outil de conception est également observé par Slaman, Laing et Conniff (2008). En suivant des étudiants architectes de dernière année en studio de conception (durant 11 semaines, avec une liberté d'utilisation des outils), ils remarquent que 55 % des étudiants utilisent les outils de CAO comme un outil de dessin mais aussi de conception, tandis que les 45 autres ne l'utilisent que comme un outil de dessin. 54 % des étudiants considèrent comme positif l'impact de la CAO sur le processus, en termes de renforcement de leurs idées conceptuelles ; d'identification rapide et efficace des erreurs ; de meilleure communication de leurs idées. Les auteurs concluent en disant que le *laptop* devient le *sketch-book* des temps modernes. Cette nouvelle pratique de la CAO au sein des processus créatifs est également soulignée par d'autres auteurs (Bonnardel, 2006; Stones & Cassidy, 2007).

Enfin, dans une expérience intégrant 30 étudiants architectes de seconde année, Hanna et Barber (2001) listent tous les avantages liés à l'utilisation de la CAO. L'ordinateur est principalement apprécié pour la facilité de mise en production et la définition des détails, mais aussi pour le support des processus d'évaluation (de la lumière, des matériaux, des couleurs, ...). Plus étonnant, les étudiants ont donné un score de 3,4/5 à l'ordinateur pour avoir «accélééré le processus de conception». Les auteurs soulignent cependant que les étudiants ont pu confondre «facilité de conception» avec «facilité de modélisation et visualisation 3D». Leur principale conclusion tient en une phrase : «*instead of using the conventional approach of sketching [and then] concept formulation, students shifted to a new approach - a CAD approach - of thinking [and then] concept formulation*» (p. 278).



### 3.5.3. Questions ouvertes

En guise de conclusion, nous pouvons donc insister sur plusieurs constats, principalement relevés dans le domaine de la conception architecturale et dont il serait intéressant d'évaluer la pertinence également pour la conception industrielle :

- le dessin à main levée n'assiste plus seulement la phase de conception préliminaire, mais est utilisé de façon plus continue tout au long du processus. Il articule une multiplicité de niveaux d'abstraction ;
- le dessin et par extension la représentation numérique, présente des caractéristiques *communicables* qui pourraient constituer son essence exploitable ;
- il arrive que l'externalisation dessinée, à certains stades du processus, ne remplisse qu'un rôle de stockage. La créativité serait alors le résultat de processus principalement mentaux, plus souvent mis en oeuvre par les sujets experts. Les mécanismes de redécouverte du projet resurgissent cependant rapidement (surtout dans le cas de conceptions complexes) et il est donc important que l'idée, même stockée, reste accessible et éditable ;
- les usages et temporalité des usages des outils évoluent. Les concepteurs font appel à certaines de leurs caractéristiques, à de moments précis de la conception. Plusieurs recherches soulignent l'usage de plus en plus précoce de la CAO au sein du processus, la visualisation 3D dynamique étant l'une des propriétés les plus exploitées à ce stade et présentant un potentiel de «fécondité heuristique» (le *see-transform-see* de la CAO) ;
- la phase de conception, aux yeux des étudiants, se confond avec celle de modélisation et il se pourrait qu'une notion plus large de modèle conceptuel [du produit] soit nécessaire pour repositionner la conception préliminaire au sein du processus élargi de conception.

Self, Dalke et Evans (2009) proposent enfin un tableau récapitulatif (figure 22) que nous reproduisons ici car il résume les principales qualités utiles des outils de conception. Les auteurs y rassemblent le niveau de détail ; d'ambiguïté ; le soutien aux transformations latérales ; la capacité à supporter l'interprétation, les découvertes et la réflexion personnelle et enfin la communicabilité qui selon eux constituent les facteurs déterminants dans la sélection des outils - et doivent rester cruciaux dans la conceptualisation de nouveaux outils d'assistance.

Characteristics	Descriptions (of UTCs)	Terms of reference	
Modes of Communication	How the design tool supports communication of design ideas to other How the design tool supports self-reflection and the emergence of ideas	Dorta	Self reflective mode
		Schon	Representation, analysis, emergence
		Goldschmidt	Dialogue with self
		Johnson	I-representations
Levels of Ambiguity	To what extent the design tool supports the ambiguous representation of ideas To what extent the design tool supports the unambiguous representation of ideas	Fish	Vagueness
		Goldschmidt	Unstructured nature
		Goel	Ambiguity/Density
		Vessel	Unspecific
Transformational ability	To what extent the design tool supports the movement from one design to a new idea – horizontal transformations To what extent the design tool support the movement from one idea to a variation of the same idea – vertical transformations	Goel	Transformation
		Visser	Duplicate, add, detail, concretize, modify, revolutionize
Levels of Detail	To what extent the design tool support a high or low level of detail To what extent the design tool support an overall or artistic impression of form detail	Brereton	Kinds of information available
		Visser	Precision
		Goldschmidt	Less/more specific
Levels of Commitment	To what extent the design tool communicates a high or low level of commitment to design ideas	Goel	Early Crystallisation/completeness
		Pipes	More committed
		Powell	Less committed
		Tovey	Uncommitted/more committed

Fig. 22 - Les principales qualités des outils de la conception. Emprunté à (Self et al., 2009).

#### 4. Les représentations externes en conception : utilités, paradoxes

Nous nous intéressons dans cette section aux représentations externes, intimement liées à l'usage des outils dont il vient d'être question. Nous interrogeons, tout comme pour les outils, leurs caractéristiques, avantages et limitations et tentons d'esquisser une distinction entre représentation générée (externalisation) ; perçue et interprétée. Nous interrogeons ensuite la formalisation de ces représentations, question peu examinée dans la littérature.

Tout au long du processus de conception et au travers de l'usage des ses outils favoris, le concepteur exploite et manipule des représentations. Celles-ci peuvent être de divers types selon l'état d'avancement du projet : catalogues d'images d'inspiration, image mentale du produit, croquis, fonds de plans numériques imprimés et retravaillés, modèles 3D numériques dynamiques (à l'écran) ou statiques (imprimés), check-lists,...

Du latin *repraesentare*, la représentation rend présente une chose absente de notre champ perceptif et couvre donc toute la gamme de conceptualisations perçues et

visualisées tout au long du processus. Qu'elle soit externe ou interne, générée par le concepteur ou, au contraire, uniquement perçue et interprétée, elle participe, dans sa construction et son articulation au processus, à l'élaboration du produit conçu. Si, comme nous l'avons présenté auparavant, on considère la conception comme un mécanisme de construction de représentations, alors il nous faut :

- étudier et classifier les différents types de représentations ;
- comprendre en quoi les différentes représentations d'un même objet (en cours de conception) contribuent en bien ou en mal au processus cognitif et comment elles sont utilisées au cours de la conception ;
- comprendre comment le concepteur réagit face à la multiplication des représentations et leurs formalismes visuels, liée à la multiplication des outils de conception à sa disposition.

Les sections suivantes font état des éléments de réponse déjà apportés à ces questionnements. Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que nombreuses des propriétés relatives aux outils sont évidemment adaptables aux représentations, étant donné leur étroite relation sémantique. En adressant la question des usages des outils, il nous a été par exemple impossible de contourner complètement le principe de représentation, tant les caractéristiques et qualités de l'un sont liées à l'autre. L'objet de cette section n'est donc pas de revenir sur toutes les notions déjà abordées, ni de discuter cette polysémie dont il a été question plus haut, ni non plus de comparer outils et représentations, mais bien plutôt de prendre en compte les aspects neufs que l'étude particulière des représentations peut mettre en lumière.

#### 4.1. Les classifications cognitives des représentations

Depuis les années 1980, la notion de représentation fait l'objet de nombreux débats en sciences cognitives. L'approche ergonomique des représentations se fonde généralement sur les travaux d'Ochanine (1978), d'Anderson (1983), (cités par (Wolff, Burkhardt, & de la Garza, 2005)), ou encore de Rasmussen, ce dernier ayant étudié le lien entre représentations et utilisation des connaissances (Rasmussen, 1990).

En particulier, plusieurs chercheurs examinent l'articulation des représentations dites *externes* et *internes* (percepts, images mentales, modèles mentaux) (Visser, 2009) et étudient la manière dont les représentations mentales s'élaborent tout au long du processus de conception (Darses, et al., 2001). Les représentations internes sont généralement liées à des thématiques telles que la mémoire à long ou à court terme (Purcell & Gero, 1998), les interfaces internes de stockage des items (ou «buffer» visuel du modèle de Kosslyn, présenté dans (Gallina, 2006)), la charge cognitive liée à leur traitement, ou encore à l'émergence de l'inspiration, à la créativité, au *mind eye*. Elles peuvent prendre différents formats et différents niveaux d'abstraction (visuel, spatial ou lexical) qui sont aujourd'hui encore mal connus et définis (Gallina, 2006). Nous n'entrerons pas dans le détail de leur étude, puisque nous nous intéressons principalement à l'externalisation des représentations et leur adéquation avec les

processus de conception, mais retiendrons un concept particulier propre à cette littérature : celui de Chambers et Reisberg (cités dans (Purcell & Gero, 1998)). Ces auteurs ont observé que les images mentales ne peuvent être reconstruites indépendamment de leur interprétation. Dans le cas des images réversibles (par exemple la représentation bien connue du vase qui peut être vu, en négatif, comme deux visages face à face), la mémoire visuelle ne peut fixer qu'une des deux représentations et toujours en lien avec son interprétation. Représentation et interprétation sont donc intrinsèquement liées, concept qu'il faut garder à l'esprit lorsque l'on soumet (et parfois, impose) à un concepteur une représentation de l'objet en cours de conception.

Les représentations externes font également l'objet d'énormément de recherches en sciences cognitives et en ingénierie de la conception (voir par exemple (Scaife & Rogers, 1996)). En ce qui concerne le vocabulaire, le terme de «représentation externe» peut faire référence au processus cognitif d'externalisation (en opposition aux processus cognitifs internes) et, en conséquence, certains auteurs font appel à la notion de «représentation graphique» pour désigner plus particulièrement l'artefact physique qui en découle (Zhang & Norman, 1994). Nous conserverons cependant le terme de *représentation externe*, de manière à englober tous les types de représentations que nous aurons l'occasion d'observer, qu'ils soient graphiques ou numériques.

Un des auteurs les plus fameux à s'être penché sur la question des représentations externes (principalement en architecture, mais aussi en design industriel) est JC. Lebahar, pour qui «analyser l'activité du SC [sujet-concepteur] revient essentiellement à analyser des représentations, ainsi que des raisonnements et procédures qui permettent de les construire ou de les transformer» (Lebahar, 2007). Dans son étude plus particulière des dessins, il liste plusieurs types de registres, que nous pensons pouvoir adapter au champ élargi des représentations externes :

- le registre topologique : il permet au sujet concepteur d'atteindre un certain niveau d'abstraction en objectivant ses images et représentations mentales (internes) ;
- le registre projectif : Lebahar le décrit comme des «images d'objets qui coordonnent l'ensemble des parties abstraites évoquées dans le registre topologique. Cette entité figurale (image) ne tient absolument pas compte des mesures exactes des distances et des angles et se contente de respecter les proportions approximatives globales. Elle reste déformable, au gré des hypothèses du sujet-concepteur, tout en conservant fixes les relations topologiques entre ses parties ;
- le registre euclidien : le sujet concepteur fixe alors les invariants géométriques (cotation des angles et des distances) et son dessin (par extension, sa représentation) en devient «indéformable».

D'après Leplat, les représentations peuvent par ailleurs présenter un caractère figuratif, opératif, déclaratif ou procédural (Leplat, 2000). Le caractère figuratif est propre à toute représentation qui porte un objectif formel. Une représentation centrée sur la réalisation d'une action - l'action de concevoir principalement, mais aussi par extension la réalisation d'opérations à mener sur le produit - est qualifiée d'opérative,

tandis qu'une représentation déclarative permet, comme son nom l'indique, de déclarer un critère, une caractéristique, une opinion, une intention. L'aspect procédural, enfin, concerne les représentations qui figurent expressément une procédure ou une marche à suivre, une méthode de mise en production par exemple.

Parallèlement à ce classement sémantique des représentations, Vinck et Laureillard (1996) proposent un classement plus «interactionnel». Les représentations peuvent ainsi endosser une fonction :

- de rétrospection : la représentation devient «porte-parole» de celui qui l'a façonnée ;
- de prospection : porte-parole d'un objet en train de naître ;
- commissionnaire : véhicules d'intentions ;
- de médiation : les représentations «trahissent et transforment» les intentions de leurs auteurs ;
- prescriptive : les représentations permettent d'imposer des choix, de défendre son point de vue ;
- de facilitation des interactions, confrontations et interprétations.

Enfin, l'approche pragmatique des représentations de Klaus (1974) ; Buysens (1973) et Borzeix (1994), (cités dans (Lebahar, 2007)) s'intéresse à l'usage que le sujet concepteur fait de la représentation, qu'il s'agisse (i) de coder la situation afin de la transformer ou de (ii) produire des messages destinés à influencer d'autres sujets. On retrouve dans la première classe d'objectifs les images opératives et dans la seconde les stratégies graphiques employées pour influencer d'autres personnes et orienter leurs actions vers certains objectifs.

#### 4.2. La conception vue comme une construction de représentations

Visser est l'une des dernières théoricienne à avoir proposé un modèle complet et neuf de la conception (Visser, 2006). Son équipe développe en effet une approche centrée principalement sur les représentations internes et externes manipulées par les concepteurs. Ces représentations évoluent sous l'influence des autres et des interactions avec l'environnement et ont le mérite de fournir une base à partir de laquelle les concepteurs peuvent eux aussi agir sur cet environnement.

Elle conserve plusieurs concepts des théories SIP et SIT. De Simon elle sélectionne par exemple la théorie de la «solution satisfaisante», ainsi que l'approche de l'activité de conception vue comme une activité cognitive plutôt qu'un statut professionnel. Elle adopte la définition que donne Schön d'une conception constituée de phases de définition de problème, structuration et redéfinition, soit les aspects d'appréhension active et constructive de la compréhension du problème (qui mènent à une constante évolution de la représentation de celui-ci). Pour elle, la décomposition va de pair avec la concrétisation : il n'existe pas de hiérarchie. S'accordant avec les théories opportunistes, elle considère que les designers ne suivent pas une stratégie de décomposition systématique, mais peuvent tout de même, dans une certaine mesure,

décomposer leur problème de manière à mieux planifier leur activité. Elle considère enfin comme décisives les couches émotionnelles et conceptuelles de la conception.

Elle donne également une nouvelle définition de la conception de manière à soutenir son propre modèle. Pour elle, *«la conception consiste à spécifier un artefact en fonction d'impératifs qui indiquent - généralement jamais explicitement ni de façon complète - une ou plusieurs fonctions qui doivent être remplies, ainsi que les besoins et objectifs à atteindre, dans certaines conditions (exprimées par les contraintes). A un niveau cognitif, cette activité de spécification consiste en la construction (génération, transformation et évaluation) de représentations de l'artefact, jusqu'à ce qu'elles soient si précises, concrètes et détaillées qu'elles définissent explicitement et complètement l'implémentation de l'artefact»*<sup>23</sup> (Visser, 2006).

En conséquence, la perspective qu'elle adopte, soit de considérer la conception comme une construction de représentations plutôt qu'une résolution de problème, la mène à considérer les trois activités principales de conception comme une construction de représentations. En effet, c'est le concepteur qui, utilisant ses connaissances et ses propres représentations, doit lui-même faire évoluer la situation : identifier et sélectionner les éléments, les interpréter et les transformer. La connaissance devient dès lors une ressource centrale dans la construction et l'utilisation de ces représentations. Elle argumente que la conception n'est qu'une suite de transformations de représentations (aucun autre élément ne peut surgir d'autres sources) et cette réutilisation de représentations peut avoir lieu dans au moins 5 phases :

- la construction d'une représentation d'un problème cible ;
- la réutilisation d'une ou plusieurs sources ;
- l'adaptation de ce matériau initial à la proposition de la solution cible ;
- l'évaluation de cette proposition ;
- l'intégration, en mémoire, des représentations du problème et de la solution ainsi modifiées.

#### 4.3. Les avantages et limitations des représentations externes en conception

Les représentations externes étant intimement liées aux outils utilisés pour les générer, nous pouvons sans trop de risque estimer que certaines qualités déjà listées dans les sections relatives au dessin à main levée et aux outils de CAO peuvent être étendues ici.

Nous retiendrons que les représentations externes aident à figurer l'état intermédiaire de l'objet en cours de conception et à évaluer ses solutions partielles (Darses et al., 2004). Lebahar (2007) ajoute que ces représentations fournissent au «sujet concepteur» ses principaux moyens de contrôle et de régulation de son activité. En particulier, elles constituent le meilleur instrument de diagnostic dont dispose le concepteur (Daru, 1991) et constituent des filtres le guidant dans la perception du problème qu'il a à maîtriser (Garrigou, Daniellou, Carballeda, & Ruaud, 1995). Elles

---

<sup>23</sup> Traduit librement de l'anglais.

participent évidemment au soulagement de l'effort cognitif engagé dans la résolution de problèmes (Scaife & Rogers, 1996).

Les représentations assurent des fonctions de référentiel opératif commun (construction d'une inter-compréhension de la situation et stabilisation des buts partagés) ; elles permettent également «l'opération des simulations et le test des spécifications auxquelles doit répondre l'objet de la conception» (Darses et al., 2004).

La multiplication des représentations d'une même information (d'un même objet) est généralement considérée comme utile et propice à l'exploration des possibilités : l'essence du contenu peut être identique mais différemment représentée, la représentation offre alors des possibilités de manipulations variées qui offrent potentiellement plus de liberté aux concepteurs. Ainsworth (1999) a étudié les caractéristiques des représentations multiples dans un contexte d'apprentissage et conclut qu'elles participent plus activement à la compréhension d'un problème (figure 23) : leurs rôles complémentaires, les liens que l'apprenant tisse naturellement et les recouvrements contraignant l'interprétation sont autant de facilitateurs pour l'appréhension et la résolution d'un processus. Cette redondance peut cependant également s'avérer problématique, en limitant par exemple les possibilités de réinterprétation et de découvertes inattendues (Scaife & Rogers, 1996).

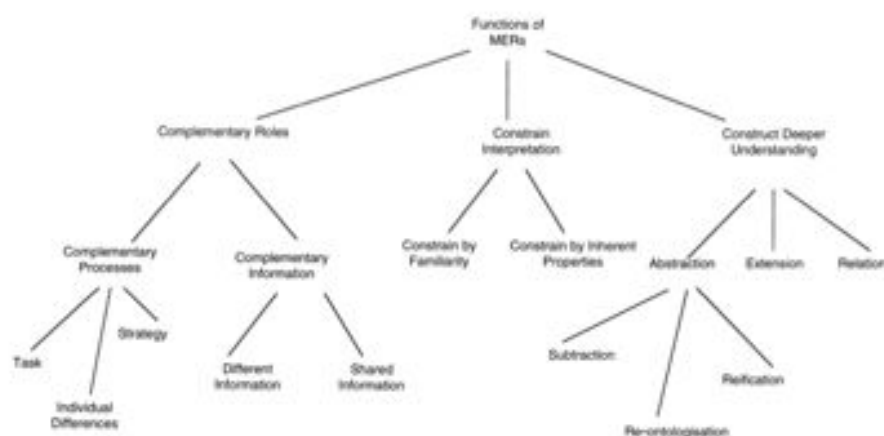


Fig. 23 - Les qualités des représentations multiples, extraites de (Ainsworth, 1999).

Certains chercheurs laissent de côté l'examen des apports cognitifs des représentations et s'intéressent plutôt à leurs usages. Au même titre que les auteurs qui s'intéressent à la granulométrie fine du trait dans l'étude du dessin, c'est la détection d'invariants dans l'utilisation de certaines représentations types qui motive leurs démarches.

En architecture, Van de Vreken propose une classification des représentations les plus utilisées (figure 24) : elle distingue d'une part les représentations conceptuelles (comme le schéma d'intention, le graphe d'adjacence ou le diagramme), qu'elles soient floues et imprécises car effectuées à la main, ou au contraire plus précises car réalisées via la CAO et d'autre part les représentations «analogues à la réalité» (2D ou 3D, statiques ou dynamiques, ou encore à degrés d'immersion différents). Elle évalue

ensuite l'impact des différents types de représentations sur la perception d'un espace architectural et plus particulièrement ses ambiances. De ce corpus très riche de résultats, nous retiendrons que la principale limitation du plan d'architecture est sans doute de ne pas pouvoir figurer explicitement la troisième dimension ; la principale limitation de la maquette est de ne pas aller assez loin dans la représentation réaliste des matériaux, couleurs, interactions avec la lumière ; la principale limitation du film et par extension, de la navigation dans les environnements 3D, est la difficulté justement de s'y mouvoir vraiment librement et facilement (Van de Vreken, 2008). Elle approfondit de la sorte un constat déjà largement admis : les concepteurs préfèrent utiliser certaines représentations en fonction du concept qu'ils désirent générer (Do, 1995).

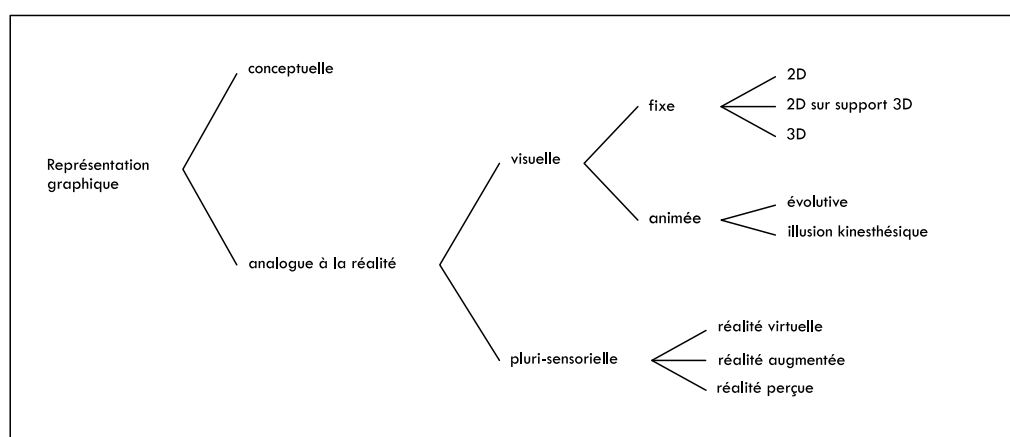


Fig. 24 - Classifications des représentations externes en architecture (Van de Vreken, 2008).

En architecture toujours, plusieurs autres auteurs se sont intéressés aux types d'externalisations généralement exploités et leurs caractéristiques respectives. La perspective, notamment, en tant que représentation 3D couchée sur un support 2D, a fait l'objet de nombreuses discussions (voir par exemple (Teller, 2001)). Pour certains, elle permet aux architectes de construire des représentations visuelles précises d'un bâtiment. Il a été observé que la perspective dessinée, dès son introduction dans les pratiques (perspective conique, Renaissance italienne), a largement impacté les processus de conception et donc les caractéristiques des bâtiments construits (Gross, 1999). Pour d'autres, la perspective ne constitue qu'une visualisation secondaire, accessoire au processus de conception. Leclercq prouve ainsi qu'en architecture les représentations 2D sont généralement les plus utilisées (plus de 80 % des dessins sont en plan), le plan horizontal étant en effet le plan de référence de l'homme occupant son habitat et donc le plan principal d'un bâtiment (Leclercq, 1996). Les croquis en perspective, qui n'apparaissent que dans 5 % des dessins observés, ne soutiendraient plutôt qu'une «démonstration» en architecture, ou une phase d'évaluation (Leclercq, 2005). Ce constat est corroboré par (Bilda & Demirkan, 2003).

Darses, Mayeur, Elsen et Leclercq (2008) quant à eux étudient les apports d'une représentation 3D dynamique au sein d'un processus de conception architectural. Ces auteurs observent plusieurs concepteurs ayant à leur disposition une interface



numérique d'interprétation de dessins à main levée (prototype de recherche EsQUIsE, figure 25, (Leclercq & Juchmes, 2002)). Cette interface, superposant les plans d'étages dessinés sur des calques distincts, est capable d'interpréter sémantiquement les traits et de proposer à l'utilisateur, en temps réel, une visualisation 3D certes grossière mais dynamique du bâtiment en cours de conception.

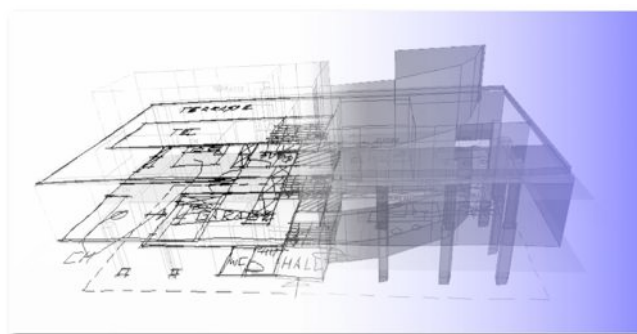


Fig. 25 - Le principe de superposition des calques pour l'interprétation auto-générée d'une visualisation 3D dynamique du bâtiment en cours de conception : EsQUIsE (Leclercq & Juchmes, 2002).

Les auteurs remarquent que les concepteurs font une très faible utilisation de la 3D auto-générée (pas plus de 10 % de l'ensemble de l'activité de conception), alors qu'une grande proportion de l'imagerie mentale se fait elle en 3D. Cette contradiction pourrait s'expliquer par le fait que l'interface propose des représentations tridimensionnelles à l'aspect considéré comme inadapté au niveau très abstrait et conceptuel des représentations 3D mentales. Une autre explication tiendrait au fait que le processus de raisonnement sur base de dessins se fait préférentiellement en zonages, ou «part-to-part» et que la visualisation 3D ne conviendrait pas à ce type de raisonnement spatial (Kavakli, Scrivener, & Ball, 1998). Ils sont rejoints sur ce point par Estevez (2001) et Leclercq (2005), qui voient en la «fragmentation» des représentations dessinées l'essence même du processus de conception architecturale : les plans, coupes et élévations peuvent évoluer en parallèle et en incohérence, sans imposer au concepteur une nécessité de synthétiser toutes les données en un modèle unique et intégral, d'emblée trop limpide, comme cela est généralement imposé par les modèles 3D numériques. Les auteurs voient dans ce phénomène un «paradoxe géométral» : le travail en vues fragmentées permet de faire évoluer le projet dans sa globalité. En architecture, la prédominance de la représentation 3D est donc remise en question : en quoi la superposition de multiples dimensions serait-elle plus efficace que le support [papier] 2D traditionnel ?

Self, Dalke et Evans (2009), en récoltant les avis de plusieurs centaines de concepteurs (de divers secteurs et répartis dans 7 pays), apportent un élément de réponse à cette question. Ils comparent les représentations générées par 11 outils, traditionnels ou numériques, tous commercialisés (CAO 2D ou 3D, croquis sur papier ou sur tablette, maquette physique, prototypage rapide, dessin technique, ...). Sans leur soumettre des représentations types, ces auteurs demandent aux sujets interrogés d'évaluer, selon plusieurs critères, les représentations que fournissent généralement ces outils. Parmi les résultats, nous retiendrons que la CAO (2D ou 3D) est effectivement

reconnue comme la plus efficace pour la définition de détails de conception et qu'à la CAO 2D correspond des représentations considérées comme moins ambiguës (les opinions étant moins tranchées pour les images générées par la CAO 3D). A la question «cet outil représente-t-il fidèlement le concept général du produit ?», il est intéressant de remarquer que la CAO 2D et le dessin à main levée sur papier récoltent plus ou moins les mêmes scores, inférieurs cependant à la CAO 3D qui semble un des meilleurs moyens de figurer les concepts. Le dessin à main levée sur tablette digitale, par contre et en comparaison avec tous les autres outils, récolte le moins bon score.

Dans le secteur plus précis du design industriel, il nous semble que ces quelques constats en faveur de l'outil numérique peuvent être encore plus appuyés. Nous avons déjà suggéré, dans l'étude des particularités du design industriel (section 2), que la relation entretenue avec la troisième dimension dès les phases de conception préliminaire pourrait en effet être toute autre qu'en architecture. Cette hypothèse est confortée par (Song & Agonino, 2004), ou encore par (Tovey & Richards, 2004) qui distinguent 3 types de vues principalement exploitées en design automobile : la vue de côté, la vue aux 3/4 de front et aux 3/4 de l'arrière. Ils soulignent également l'extrême richesse du contenu des représentations, dans la variété des styles notamment et rejoignent par là également une autre de nos intuitions : la représentation en design industriel ne développerait pas, sémantiquement parlant, les mêmes codes graphiques qu'en architecture, si bien que d'autres principes (à condition que ces hypothèses soient vérifiées) devraient être convoqués pour une éventuelle interprétation de son contenu.

Nous clôturons cette section en soulignant l'importance de l'étude contextualisée des représentations : la mise au point d'un système d'assistance requiert de mieux comprendre comment les représentations multiples se chevauchent et se complètent ; comment et pourquoi le concepteur fait tantôt appel à un type de vue plutôt qu'à un autre et quels sont les contenus qu'il met en oeuvre pour mener à bien sa tâche de conception. En termes de contenus, nous veillerons également à bien distinguer le type de vue représentée (plans, coupes ou élévations 2D ? Perspectives ou axonométries 3D ?) et le type de support exploité (support 2D type papier ? support virtuel et dynamique 2D ou 3D ?) ou encore, tant que faire se peut, la dimension de la pensée (2D, 3D ?) tant ces critères semblent impacter le processus de conception.

#### 4.4. Représentation perçue, générée, ou interprétée

Le concepteur, tout au long de son processus de conception, va donc exploiter différents types de représentations. Nous venons d'en distinguer plusieurs et d'y adjoindre de potentielles qualités lorsque la littérature le propose. Il nous faut introduire un dernier type de distinction : la différence qui existe entre représentations générées ; perçues et interprétées.

Durant ses activités de conception individuelle le concepteur génère lui-même la plupart de ces représentations et il y introduit le sens et le contenu nécessaire et désiré. Mais il fait aussi appel à des sources extérieures d'inspiration et doit inmanquablement exploiter des représentations générées par d'autres. Il peut en outre

plus tard redécouvrir et réinterpréter ses propres représentations, éventuellement exploitées entre temps par ses collaborateurs. Le statut généré, perçu ou interprété d'une représentation peut donc évoluer au fil du temps en fonction des manipulations qu'elle aura subi et le nombre d'intervenants qui auront agi sur son contenu. Si on se place dans la perspective de la mise au point d'un outil d'assistance, il faut donc se positionner vis-à-vis de toutes ces catégories de représentations et leurs multiples aspects et éventuellement proposer une approche différenciée.

Si l'on considère les représentations externes générées par le concepteur lui-même, on peut supposer qu'il fait le meilleur usage des outils à sa disposition en faisant en sorte d'en exploiter les propriétés qui correspondent au mieux à ses attentes. En choisissant le dessin à main levée par exemple, il sélectionne l'instrument et le type de mine qui conviennent à ses objectifs. En choisissant un logiciel de CAO, il fait un compromis entre son expertise dans l'usage de cet outil, ses attentes fonctionnelles et visuelles et les possibilités offertes par le logiciel. Sans remettre en question les compétences du concepteur ni sa capacité à effectuer de façon critique le choix entre tous les outils à sa disposition, nous réalisons cependant que cette sélection de l'outil de conception va avoir un impact important sur le type de représentation générée. On peut dès lors se demander dans quelle mesure par exemple le formalisme visuel particulier imposé par un logiciel va impacter le processus de conception. La revue de cette question sera présentée dans la section suivante.

Si l'on considère plutôt les représentations externes que le concepteur n'a pas lui-même générées, ou qu'il a générées mais qu'il récupère suite à diverses manipulations, il nous faut alors examiner les processus de perception visuelle. Cette perception, ou visualisation, est «*le mécanisme par lequel les humains perçoivent, interprètent, utilisent et communiquent l'information visuelle*» (de McCormick, DeFanti & Brown, 1987, cités par (Scaife & Rogers, 1996)). Comme cette définition le rappelle et comme souligné plus tôt, la perception ne se fait jamais indépendamment d'un phénomène d'interprétation. L'utilisateur va interagir avec une représentation grâce à ses sens, il va associer à la représentation des connaissances et un vécu qui lui sont propres et il va donc développer une interprétation de la représentation qui lui sera personnelle. La reconnaissance d'un objet, d'une forme, associe en effet en général deux processus : un processus de reconstruction sur base d'un stimuli 2D (Olsen, Samavati, Sousa, & Jorge, 2009), ou processus *bottom-up* (qui part donc de l'image perçue) et la reconnaissance de formes basée sur la mémoire, ou processus *top-down* (qui part donc des connaissances stockées) (Blavier, 2006; Pignocchi, 2010). Si les mécanismes sous-jacents au premier processus peuvent être grossièrement réduits aux lois Gestaltistes<sup>24</sup>, le second processus fait bien lui appel aux spécificités du sujet. Si plusieurs personnes considèrent une représentation identique, ils ne vont donc jamais la percevoir de la même manière (Gero & Kelly, 2005) et encore moins dans le cas où l'objet représenté est en cours de conception : la perception d'un objet qui n'est pas sensé exister

---

24 Nous réduisons volontairement l'examen de tous les phénomènes qui expliquent effectivement finement les processus de perception. Le lecteur intéressé pourra se référer à (Matlin, 1998), ouvrage destiné aux étudiants mais qui présente les modèles prototypiques, modèles des traits distinctifs, théorie de la reconnaissance en composants etc. qui complètent les lois Gestaltistes.

s'entoure de phénomènes encore plus complexes à analyser (Bouchard, Aoussat, & Duchamp, 2006).

Nous n'entrerons pas plus dans la description des mécanismes qui régissent les différents niveaux de la perception humaine et renvoyons le lecteur intéressé aux écrits de (Van de Vreken, 2008) et (Blavier, 2006) à ce sujet. Nous retiendrons simplement que :

- la sélection et l'usage des outils ont un impact direct sur les représentations manipulées et donc sur le processus ;
- une représentation peut présenter différentes «qualités» de contenus et donc différentes opportunités de manipulation ;
- l'évaluation d'une représentation «générée» se fait différemment de l'évaluation d'une représentation «perçue» et que l'imposition de cette dernière à un concepteur n'est donc pas sans conséquences.

#### 4.5. Représentations et formalisme visuel

L'impact du formalisme visuel d'une représentation, qui a été abordé à quelques reprises jusqu'ici, n'a pas fait l'objet de recherches très approfondies. Nous venons pourtant de constater qu'il peut arriver au concepteur de «recevoir» des représentations travaillées et modifiées, qu'il va percevoir et interpréter ; qu'il peut également lui arriver d'exploiter des outils dont il ne contrôle pas tous les aspects formels ; et que par dessus tout les multiples caractéristiques des représentations (en termes d'aspect bien entendu mais aussi de sélection de la vue et du support) sont autant de critères d'impacts sur le processus de conception.

Gallina, dans son livre de vulgarisation mais dont l'état de l'art est complet, regrette que la pertinence et la qualité des représentations soient si peu investiguées (Gallina, 2006). On retrouve, de manière très sporadique, quelques auteurs qui s'accordent à dire que la manière dont l'information est présentée a un impact sur la réalisation de la tâche (Good, 1996), ou encore qu'une même information peut être représentée de diverses manières - les représentations sont alors identiques d'un point de vue informationnel mais différentes d'un point de vue computationnel (Larkin & Simon, 1987, cités par (Good, 1996)) - et qu'il faut particulièrement veiller à faire le choix du «bon visuel» pour soutenir le «bon objectif» (Hahn & Kim, 1999; Söderström & Zepf, 1998). Anastassova (2006) compare elle l'utilité et l'utilisabilité de plusieurs systèmes de réalité augmentée (en termes d'efficacité de présentation de l'information graphique et de performances 2D/3D) et conclut que la plupart des limitations observées pourraient être solutionnées par une analyse fine des besoins en amont de la conception de la technologie.

Good toujours développe localement des expérimentations pour évaluer l'impact de la congruence sur la performance dans la réalisation d'une tâche ainsi que l'impact du type de représentation (arbres et graphes) sur la performance. Il définit tout d'abord la notion de congruence : il y a congruence lorsque l'information principale soutenue par la représentation est la même que celle nécessitée pour la résolution de la tâche

(Good, 1996). Le concept s'approche, d'après l'auteur, du concept de *cognitive fit* proposé par Vessey et ses collègues, mais qui englobe plus largement les phénomènes d'analogies, inter ou intra domaines par exemple. En cela, trop de *cognitive fit* pourrait être préjudiciable à l'ouverture du champ d'exploration. Si une représentation porte préférentiellement un type précis d'information, il semblerait logique de dire que le choix de la représentation est motivé par le type d'information nécessité par la tâche et que cette représentation est effectivement plus efficace à soutenir la réalisation de cette tâche. Les expérimentations mises en oeuvre par Good n'ont cependant pas permis de prouver cet effet de la congruence, mais cela est dû d'après nous à la méthodologie et surtout aux sujets sélectionnés (des étudiants en sciences et sciences cognitives, pas réellement habitués d'après nous à exprimer graphiquement leurs idées). L'auteur doit reconnaître que la notion de congruence ne suffit pas et qu'il faut y ajouter le niveau de familiarité du sujet avec le type de représentations manipulées. Nous ajoutons que la notion de congruence est peut-être par ailleurs un concept trop «entier» et qu'évaluer plutôt un niveau de congruence permettrait d'affiner quelque peu les résultats.

Face à l'aspect insaisissable de ces questions, Gero et Kazakov (2003) proposent une méthode systématique de calcul de la complexité d'une représentation, sensée dépasser le caractère vague et mal défini des précédentes tentatives. En dénombrant le nombre d'arêtes, de coins et de relations entre les unités visuelles qui composent une image fixe, ils tentent d'en proposer une évaluation comparative, mais qui ne pose pas la question de son impact réel sur les concepteurs ni de son efficacité à supporter le processus d'interprétation. Une autre méthode est proposée par Abdelhameed, Ozel et Abdellatif (2004), qui considèrent l'impact de la représentation plutôt en termes de modifications engendrées sur le processus de conception. Ils tentent de mesurer l'impact de représentations numériques notamment sur la capacité représentationnelle de plusieurs architectes (via des questionnaires), mais il en découle des résultats peu exploitables.

La représentation numérique, moins soumise à la volonté du concepteur, fait généralement l'objet d'un peu plus d'intérêts. Gero et Kelly (2005) par exemple reconnaissent que ses qualités particulières, liées aux caractéristiques internes de la machine et aux propriétés du logiciel, vont influencer la manière dont l'utilisateur va percevoir les différents aspects de son projet et va les interpréter. Ils expliquent que certaines restrictions imposées par l'outil CAO sont liées à la divergence qui existe entre la structure de la représentation, imposée par la machine et l'interprétation que se font les utilisateurs. La figure 26 est un exemple simple d'une telle divergence : en fonction de la structure de l'information, l'utilisateur va soit, d'un clic, sélectionner une polyligne (capture d'écran de gauche), soit un segment (droite). L'item sélectionné ne permet pas au concepteur les mêmes interactions et ne correspond peut-être pas à ses attentes.

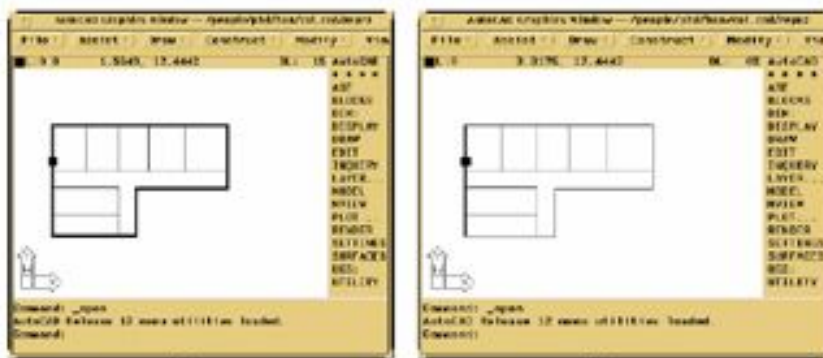


Fig. 26 - La sélection (point noir) d'une ligne révèle deux structures différentes (une polyligne ou un segment) alors que l'utilisateur pouvait s'en faire une seule et même interprétation initiale. Source : Jun et Gero, 1997, dans (Gero & Kelly, 2005)

D'autres chercheurs se concentrent sur le degré de véracité ou de falsification qu'une représentation présente, par rapport à une réalité (qu'il est difficile de définir dans le cas où l'on conçoit un objet qui n'existe pas encore !). Un courant de recherche s'intéresse par exemple au rendu non photo-réaliste : ce courant remet en question les représentations quasi photo-réalistes proposées actuellement par les modeleurs géométriques 3D commercialisés et tente de définir les principes d'une représentation qui conserve des qualités plus «artistiques», supposées plus en adéquation avec les besoins des utilisateurs (Wang, Zhang, Li, & Wang, 2004). D'après ces auteurs, les représentations quasi-réelles sont trop précises, ne laissent aucune place à l'ambiguïté et poursuivent l'objectif futile et irréalisable de représenter la réalité. Meyer et Bederson (1998) en observant quelques artistes dessinant des diagrammes, les rejoignent sur ce point et concluent qu'une apparence plus «sketchy» correspondrait à un mouvement de dessin plus fluide, plus agréable pour les sujets. Ils soulignent l'impact qu'à le formalisme visuel sur la manière dont les sujets interagissent avec l'interface et recommandent de proposer à l'utilisateur plusieurs «styles visuels». D'autres auteurs déclarent cependant que ce look sketchy<sup>25</sup> n'est en réalité pas essentiel au concepteur (Dorta & Pérez, 2006). Si, intuitivement, nous pouvons sans doute admettre qu'une représentation trop soignée doit certainement avoir un impact sur la capacité du concepteur à ré-interpréter et re-découvrir son projet<sup>26</sup>, nous nous devons de souligner que ces affirmations, quelles qu'elles soient, sont rarement supportées par des données empiriques solides.

En conclusion, nous ne pouvons que constater le manque de consensus en ce qui concerne le formalisme attendu d'une représentation. Toutes les bonnes volontés s'accordent à dire qu'il faut la «meilleure représentation possible» à un temps donné

25 ... à ne pas confondre avec une représentation qui traduit le «coup de patte» du dessinateur : le look «sketchy» est plutôt un filtre apposé sur l'image, de manière à en brouiller les arêtes.

26 Ainsi on peut imaginer que la représentation quasi réaliste d'un projet, projetée par l'ordinateur, pousse le concepteur inconsciemment à y associer un statut «quasi fini», qui pourrait effectivement bloquer ensuite la génération de nouvelles idées.

pour une tâche donnée, ou tout du moins une représentation «adéquate» (soit plus simplement «satisfaisante au vu d'une situation particulière» (Asanowicz, 2005a)). Les recherches qui définissent le bon contenu, le bon niveau d'abstraction et la bonne granulométrie représentationnelle font cependant défaut (Cox & Brna, 1995, cités par (Good, 1996)), sans compter que plusieurs des recherches dont il vient d'être question s'intéressent à des sujets et des objets (diagrammes, arbres, ...) éloignés des pratiques réelles des métiers de la conception.

#### 4.6. Perspectives

La littérature sur les représentations (externes) et leurs usages laisse de bien nombreuses questions ouvertes et se construit sur un ensemble de suppositions qui n'ont jamais fait l'objet de recherches approfondies. Scaife et Rogers (1996) listent plusieurs de ces postulats, parfois largement adoptés mais rarement démontrés et parfois discutables :

- les stimuli visuels, comme images et diagrammes, sont plus efficaces que les stimuli lexicaux ;
- la modélisation en mode «plein» est plus efficace que la modélisation en mode «filaire» ;
- les représentations en couleur sont plus efficaces que celles en noir et blanc ;
- l'aspect dynamique d'une représentation apporte plus que son équivalent statique.

En particulier, les qualités liées aux représentations 2D ou 3D sont encore largement méconnues (Ullman, Wood, & Craig, 1990) : quelques recherches en sciences cognitives tendent à prouver que les humains sont capables de construire des images mentales en 2D ou 3D, mais il n'est pas encore certain que la dimension du mode de stockage corresponde à la dimension de la visualisation. Les propriétés, fonctions et contenus des représentations mentales sont-elles comparables aux représentations externes générées, plus largement projectives et euclidiennes (Mayeur, 2006) ? En outre, si les images peuvent être 2D ou 3D selon les besoins, quels sont les mécanismes de transformation, de passage entre ces deux modalités ?

Ce projet de recherche n'a pas l'ambition de répondre à toutes ces questions. Nous tenterons cependant de mieux comprendre :

- comment et pourquoi le concepteur fait tantôt appel à un type de représentation plutôt qu'à un autre et quels sont les contenus qu'il met en oeuvre pour mener à bien sa tâche de conception (type de vue, type de support) ;
- en particulier, la prédominance, le rôle et les fonctions des représentations 2D ou 3D et les mécanismes de transition ;
- quelle est l'essence, la key feature d'une représentation qui la rend plus efficace ? Peut-on définir un bon contenu, un bon niveau d'abstraction et une bonne granulométrie représentationnelle en fonction d'un objectif donné ?
- quelles caractéristiques formelles une représentation devrait-elle présenter pour répondre aux besoins du concepteur (photo-réaliste ? non photo-réaliste ?).

## 5. SBIM et nouvelles interactions

Nous dressons, avant de clôturer cette revue de l'état de l'art, l'état de la situation en recherche appliquée. Les principaux prototypes de soutien à la conception, avec leurs grandes orientations, seront présentés et nous détaillerons ensuite la famille d'outils dits «SBIM», pour Sketch Based Interfaces for Modeling. Nous constaterons les partis pris par certains de ces prototypes, ainsi que les postulats ouverts à discussion.

### Préambule

Il vient d'être fait état, dans les sections précédentes, des avantages mais aussi des limitations de certains objets, médiateurs de la conception. Plusieurs questions de recherche ont également été sélectionnées. Si certains débats théoriques demeurent effectivement ouverts, de nouvelles formes d'interactions sont proposées par des équipes de recherche plus appliquée, tant en design engineering (pour les valeurs ajoutées potentielles aux processus existants) qu'en computer graphics (pour la définition de nouvelles interfaces et techniques d'imagerie). Au croisement des deux disciplines se trouvent les prototypes de soutien au dessin à main levée qui tentent, en respectant certaines conditions, de dépasser les limitations des interfaces et interactions homme-machine actuelles tout en augmentant les potentiels du dessin à main levée.

Entamons la revue de la question par les logiciels effectivement commercialisés. Même si pour la plupart ils ne respectent que très peu les processus cognitifs originels des concepteurs, ils font désormais partie des outils largement exploités au quotidien et nous suggérons que leurs usages impactent ce que nous pourrions appeler les «pratiques nouvelles». Sans paraphraser la section 3.4, résumons ici les 4 grandes catégories d'outils numériques qui séduisent les concepteurs :



- les outils dits déclaratifs de représentation graphique, 2D ou 3D, tels que Autocad®, Studio Max 3D®, Pro-Engineer® etc. Ils constituent ce que nous appelons les outils CAO traditionnels ;
- les bibliothèques de données qui proposent aux concepteurs un ensemble d'éléments graphiques dont ils font habituellement usage lors des phases aval de la conception ;
- les bibliothèques de données mais cette fois comme soutien de l'inspiration (images sources, analogies intra- et inter- domaines, ...) ;
- et enfin les premières applications commercialisées qui supportent un input au stylo électronique mais ne vont pas très loin ni dans la reconstruction, ni la reconnaissance des traits : Archipelis Designer® de Archipelis ; Sunny3D® de E-Frontier ; Z-brush® de Pixologic ; MudBox® de Autodesk ; Alias SketchBook Pro® et Corel Draw®. Ces logiciels exploitent la manipulation d'objets 3D, la projection de matière et le traitement graphique de traits via une entrée stylo, mais n'en proposent qu'un usage récréatif et non professionnel.

En recherche appliquée, nous distinguons trois grandes communautés, chacune avec une philosophie propre lorsqu'il s'agit de la mise au point de prototypes innovants de soutien à la conception :

- la première communauté considère que la situation actuelle doit être conservée en l'état : la conception préliminaire ne peut être mieux outillée qu'avec le dessin, tandis que les phases aval du processus sont déjà actuellement optimisées par les outils CAO. Mitchell, Inouye et Blumenthal (2003) partagent ce point de vue «conservateur». D'après eux, *«puisque la créativité est associée avec la nouveauté, il n'est ni indispensable, ni même nécessaire, de mettre au point une intelligence artificielle pour le soutien au travail créatif ; pas plus qu'il n'est nécessaire d'intégrer au crayon toutes les fonctions du dessin»*. Pour cette communauté, les logiciels de CAO sont avant tout des outils de dessin et non de conception et bien d'autres domaines de recherches méritent d'être explorés en design engineering ;
- la seconde communauté laisse totalement de côté l'outil traditionnel de dessin à main levée (considéré comme obsolète) et se concentre uniquement sur les outils CAO, qu'elle tente d'augmenter par des interactions haptiques ou immersives par exemple ;
- la troisième communauté tente de contourner tant les limitations du dessin que de la CAO en proposant des techniques parallèles, comme les SBIM (pour une état de l'art complet, voir (Olsen et al., 2009)), ou des systèmes exploitant l'esquisse dans un environnement de réalité virtuelle<sup>27</sup>, comme l'«Hybrid Ideation Space» (Dorta & Pérez, 2006). Ce système permet à l'architecte d'intérieur de dessiner «au coeur» de

---

27 A ne pas confondre avec la réalité augmentée, qui se contente «d'augmenter» certaines capacités perceptives et motrices que l'être humain possède généralement sur le monde réel (Blavier, 2006). La réalité augmentée, en n'ajoutant qu'un élément virtuel à la perception du contexte réel, privilégie les interactions naturelles. La réalité virtuelle quant à elle remplace la perception d'un monde réel par celle d'un monde artificiel (aux caractéristiques distinctes du monde physique (Scaife & Rogers, 1996)) et propose à l'utilisateur de s'immerger dans l'expérience virtuelle.

son projet, projeté sur plusieurs faces d'un espace immersif et ensuite de se mouvoir dans l'espace 3D ainsi généré. Les études menées par ces auteurs tendent à prouver que ce genre de système favorise la compréhension spatiale du projet, la détection des erreurs, mais que la réalisation d'une conception dans un monde immersif demande plus d'efforts (mentaux, physiques) au concepteur. Certains auteurs interrogent cet impact de la réalité virtuelle, en argumentant qu'un tel monde dépasserait les possibilités perceptives des utilisateurs (Asanowicz, 2005b).

Nos travaux se positionnent résolument au sein de cette troisième et dernière communauté : elle constitue d'après nous en effet une base plus saine pour la définition d'outils innovants, mais respectueux des pratiques réelles des concepteurs. Au sein de cette communauté, nous distinguons trois grandes familles de prototypes, présentés dans les sections suivantes :

- les prototypes proposant de nouveaux types d'interactions pour la modélisation d'objets 3D ;
- les prototypes SBIM (Sketch Based Interfaces for Modeling), qui proposent un nouvel usage du dessin à main levée, avec plusieurs niveaux possibles d'interaction : simple capture des traits (éventuellement quelques traitements graphiques) ; reconstruction sur base de règles géométriques ; reconstruction sur base d'interprétation (parfois sémantique) des traits ;
- enfin, les prototypes plus «dédiés» au soutien d'une fonctionnalité très précise en conception.

### 5.1. Interactions nouvelles en modélisation tri-dimensionnelle

Ces prototypes introduisent essentiellement de nouvelles techniques d'interaction pour la modélisation d'objets 3D virtuels. Que l'entrée soit à la souris, au stylo électronique, ou encore haptique (voir les travaux sur le «haptic based modeling» de (Kanai, 2005)), tous ces prototypes tentent de faciliter la manipulation de primitives géométriques 3D que l'on peut associer et déformer pour obtenir des ensembles plus complexes.

Trois sous-classes de prototypes peuvent être distinguées (Danesi, Gardan, Martin, & Pecci, 1999). Tout d'abord les prototypes qui font usage d'une logique «menus» pour l'appel des primitives (Xu, Liu, Jin, & Sun, 2002). L'interaction, encore très pauvre et limitée, se fait généralement à la souris. Ensuite ceux qui exploitent la reconnaissance automatique de «gestes» du concepteur pour la sélection et la génération des formes (comme par exemple Sketch (Zelevnik et al, 1996), 3DSketch (Han & Medioni, 1997), Ides (Branco et al, 1994), tous cités par (Danesi et al., 1999)). Ces logiciels, en ne proposant à l'utilisateur qu'un nombre limité de gestes pour l'interaction, ne peuvent être intégrés dans la classe des interpréteurs : ils ne reconnaissent pas des traits à proprement parlé mais plutôt des «mouvements» et ils imposent à l'utilisateur un apprentissage obligatoire, qui peut être considéré comme contraignant tant il éloigne le concepteur de ses interactions habituelles (traditionnelles mais aussi numériques). Enfin, sont également classés ici les logiciels

de modélisation 3D qui exploitent des surfaces et leurs déformations (Nurbs, volumes de révolution, extrusion... etc.). Le dispositif d'entrée adopté reste en général la souris, bien que le stylo électronique apparaisse dans certains cas. On classe ici Ides (qui propose donc plusieurs modes d'interaction) ; 3D Palette (Billinghamurst et al, 1997) ; 3D Shape Deformation (Murakami & Nakajima, 1994) et Virtual Clay (Kameyama, 1997) - ces deux derniers étant basés sur la déformations de Nurbs - ou encore 3-Draw (Sachs et al, 1991), qui permet la modélisation par saisie de points et de courbes (tous cités par (Danesi et al., 1999)).

Dans cette section, on peut aussi introduire des techniques de Solid Sketch ou *digital sculpting* : ces logiciels de sculpture numérique permettent à l'utilisateur de projeter de la matière, généralement perpendiculairement à une surface de référence et de créer ainsi des patatoïdes qui pourront ensuite être retravaillées (tour de potier, ajout ou extraction de matière etc.). Le meilleur exemple est Z-brush® (commercialisé). Ces logiciels, bien que proposant un mécanisme d'interaction neuf, sont souvent considérés comme des «gadgets» par les concepteurs : il est en effet très difficile de mesurer conceptuellement l'importance de la quantité de matière projetée et encore plus difficile de contrôler l'ampleur des déformations ensuite infligées à la matière.

Par extension, nous ajoutons ensuite à cette section les systèmes de génération automatique de formes complexes, courbes, gauches (Séquin, 2005). Ces générations de formes, qu'elles soient paramétriques, génétiques et évolutionnaires, exigent de la part du concepteur qu'il «abandonne» quelque peu son intention créative au mécanisme itératif de la machine. Il ne peut que constater l'évolution des géométries, interrompre le processus quand il lui semble qu'un profil généré peut être intéressant et repartir de cette base pour poursuivre l'acte de conception. Pour ces raisons, nous ne considérerons pas ces techniques comme réellement capables de soutenir le concepteur dans son processus ; en réalité elles le supplantent plutôt. Le lecteur intéressé pourra cependant trouver un résumé dans (Kolarevic, 2000).

Deux prototypes, le système DDDOOLZ de sketch de «boîtes» (à la souris) dans un environnement 3D immersif (dit de réalité virtuelle, (Achten, de Vries, & Jessurun, 2000), figure 27) et Quicksketch, qui nettoie les traits 2D et construit également des modèles 3D simplistes en interaction constante avec l'utilisateur (principalement sur base d'extrusions, (Eggl, Brüderlin, & Elber, 1995)) constituent enfin la transition vers les prototypes SBIM. En effet, s'ils exploitent le trait (à la souris ou au stylo) comme information d'entrée pour la construction interactive et séquentielle de modèles 3D, ils ne font cependant pas appel aux techniques de reconstruction géométrique et encore moins d'interprétation présentées dans la section suivante.

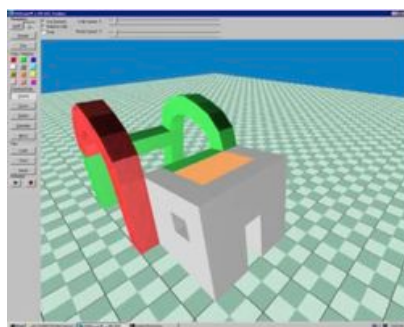


Fig. 27 - L'interface DDDOOLZ. Extrait de (Achten, de Vries & Jessurun, 2000).

## 5.2. SBIM, ou Sketch Based Interfaces for Modeling

Les prototypes SBIM visent également à soutenir les phases amont de l'idéation, mais en exploitant cette fois diverses métaphores de l'interaction «papier/crayon». Ces outils ne visent pas à supplanter la CAO traditionnelle mais bien à la compléter pour gommer ses lacunes. Leur développement est intimement lié à la mise au point d'interfaces à stylos électroniques, dont on ne peut pas dire qu'elles soient neuves puisque Sutherland, précurseur, développe en 1963 déjà la toute première interface de création et manipulation d'objets au stylo électronique, « SketchPad » (Sutherland, 1963).

Les recherches sur les SBIM se structurent en plusieurs sous thématiques (voir figure 28, extraite de (Johnson, Gross, Hong, & Do, 2008)). Parmi celles-ci, nous nous intéressons plus particulièrement à la reconnaissance et l'interprétation des dessins à main levée pour la génération de plus-value, par exemple le modèle tri-dimensionnel de l'objet en cours de conception. Ce traitement des dessins peut se faire de façon synchrone (ou *online*) ou asynchrone (*off-line*) : la première revient à traiter le dessin alors qu'il est en cours de définition (alors qu'il naît sous nos yeux), la seconde ne considère la trace que lorsque le dessin est entièrement réalisé (comme si on ne le découvrait qu'une fois achevé - le système traite alors une information pixellisée (Rajan & Hammond, 2008)).

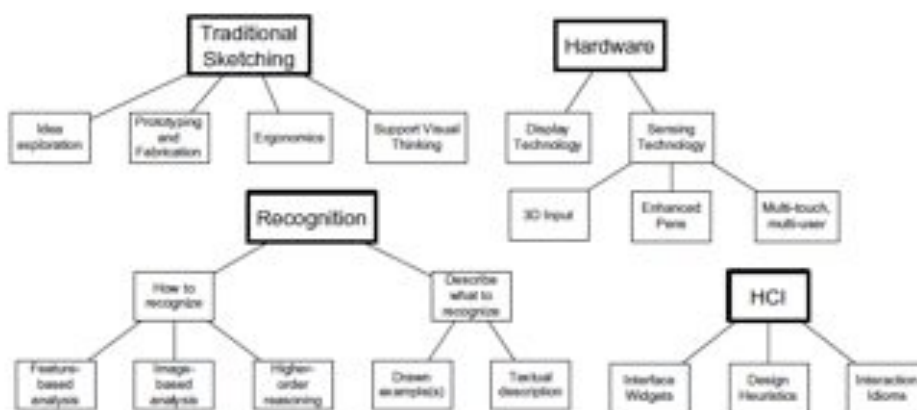


Fig. 28 - Sous-thématiques de recherche en SBIM. Extrait de (Johnson, Gross, Hong et al, 2008).

Dans un article de référence, Olsen, Samavati, Sousa et Jorge (2009) comparent plus de 150 interfaces de ce type et résument leurs 3 étapes principales constitutives. La première étape, la plus cruciale, tient en la création du modèle numérique à partir des traits du dessin. Celle-ci peut se faire de diverses manières, nécessitant des mécanismes d'interaction plus ou moins intenses avec le concepteur, ou au contraire interprétant de façon plus ou moins autonome les traits introduits. Ces auteurs constatent qu'à l'heure actuelle aucun système ne parvient efficacement et dans toutes situations, à effectuer cette transition ; nous verrons en effet à quel point le caractère ambigu, incomplet et personnel du dessin rend complexe la tâche de reconstruction du modèle. Quoiqu'il en soit, cette étape de création du modèle inclut le plus souvent une phase de filtrage des informations. Dans tout dessin à main levée, on retrouve une multitude de traits (d'overtracing, de cristallisation), qui participent activement à la construction conceptuelle du projet. Ces données sont généralement considérées comme superflues par les concepteurs de SBIM et doivent en conséquence être triées<sup>28</sup> : soit par approximation, par «fitting» (ou le remplacement des profils flous par des courbes nettes), ou par «oversketching» intentionnel de la part de l'utilisateur (il est demandé à l'utilisateur de repasser nettement son dessin).

La seconde étape est la déformation du modèle, de manière à le rendre le plus fidèle possible à la volumétrie désirée. Une fois le modèle généré (que les surfaces soient de type paramétrique ou «mesh»), l'utilisateur peut lui faire subir un ensemble d'opérations (le découper, le plier, le trouser, le déformer librement, etc.) qui sont relativement facilement soutenues par l'ordinateur, le modèle 3D pré-existant ancrant ces modifications.

Deux difficultés subsistent néanmoins. La première tient au médium utilisé pour l'interaction : le stylo, s'il est particulièrement bien adapté à l'input de la trace graphique, n'est par contre pas optimal pour la phase de modification (il est parfois complexe de se mouvoir dans l'espace virtuel avec un stylo et l'ampleur des déformations n'est pas toujours bien contrôlée). La seconde tient au fait que les modifications sont rarement biunivoques : une fois le modèle 3D généré, les modifications portées au modèle ne se retraduiront pas sur le dessin originel et vice-versa.

---

28 Ce tri peut se faire selon deux temporalités. Soit asynchrone et on parle alors de systèmes offline : la capture de traits se fait à partir de dessins scannés (Davis, 2007 ; Rajan et Hammond, 2008) et joue donc sur la «spatio-luminescence» d'une image (Xu, Liu et al., 2002). Soit synchrone, les systèmes online analysant le dessin en temps réel, pendant sa réalisation.

Il y a donc une véritable césure conceptuelle et cognitive entre le «modèle dessin» et le «modèle 3D éditable», dont on peut se demander :

- si elle est imposée, par le prototype, comme le passage d'une conception préliminaire (floue et mal définie) à une espèce de phase de «mise en détail» prématurée et, en conséquence, si elle est bien adaptée aux attentes du concepteur ;
- ou si elle répond, au contraire, aux attentes précoces du concepteur, qui désire au plus vite visualiser et faire évoluer son projet en 3D.

La troisième étape constitutive d'un outil SBIM complet est l'*augmentation* du modèle (Olsen et al., 2009). D'après ces auteurs, cette augmentation consiste en la mise en détail des volumes alors créés mais encore trop simplistes. Techniquement plus aisée car construite sur un maillage existant, cette étape consiste à ajouter ou creuser la matière ; des annotations ; des traits en surface ; des traits de profil (Aoyama, Nordgren, Yamaguchi, Komatsu, & Ohno, 2007). D'après nous, cette troisième étape pourrait également être titrée «déformation» du modèle, étant donné qu'aucune propriété intrinsèque du projet n'est réellement augmentée par des évaluations ou optimisations.

Les auteurs rappellent ensuite que pour évoluer au travers de ces étapes, deux interfaces sont généralement proposées : l'interface par stylo, pour laquelle il faut sans cesse détecter les intentions et éviter les confrontations ; et l'interface par gestes, qui exige un apprentissage et n'est pas toujours compatible avec les modalités d'interaction naturelles du concepteur (désignations, gestes divers, pression du coude, ...).

Nous nous intéressons principalement ici à la première étape, soit l'étape de création du modèle 3D, problème qui est, comme nous l'avons souligné, non encore totalement résolu. Cette étape de création peut être abordée de trois manières différentes : soit par interaction constante avec le concepteur, les traits étant simplement capturés et positionnés les uns par rapport aux autres dans un monde tri-dimensionnel ; soit par reconstruction géométrique ; soit par reconnaissance/interprétation des traits.

#### 5.2.1. Capture et positionnement des traits

La capture des traits, leur traitement, leur reconstitution et leur positionnement dans l'espace est servi par un ensemble de techniques, aujourd'hui éprouvées et dont on trouvera une revue complète dans (Juchmes, 2005) ou (Johnson, Gross, Hong, & Do, 2008). Trois stratégies sont généralement utilisées : l'usage de l'information temporelle, l'usage des règles de la perception et l'usage de délimiteurs (i.e. des signes qui indiquent une séparation dans une suite de caractères). Ces techniques, qui incluent le filtrage des données présenté plus haut, nourrissent la première étape quasi systématique de tout SBIM.

Certains logiciels s'en tiennent à un «simple» accompagnement de l'utilisateur dans son processus de dessin. Le dessin peut ainsi être supporté de diverses manières : par des guides d'aide au traçage, par des grilles, par des corrections instantanées et

fitting sur primitives géométriques de base (Kara, D'Eramo, & Shimada, 2006; Kara, Shimada, & Marmalefsky, 2007), ... Un prototype assez robuste en la matière est le système «I Love Sketch» de (Bae, Balakrishnan, & Singh, 2008), qui associe dessin dans un environnement 3D dynamique (ou *sketch 3D*) et reconnaissance de gestes pour l'introduction de traits dans le monde virtuel. L'utilisateur doit apprendre un nombre limité de gestes, qui lui permettront de définir et sélectionner les plans dans lesquels il va dessiner, de supprimer ou dupliquer les traits, etc. Lorsque des courbes plus complexes doivent être créées, le système propose à l'utilisateur de les définir selon deux points de vue complémentaires (méthode épipolaire), qui affinent leur positionnement dans l'espace. Le prototype s'accompagne d'une multitude de propriétés connexes, sensées simplifier la tâche de dessin : évaluation automatique du point de vue pris par l'utilisateur et rotations douces et automatiques de la feuille virtuelle ; nettoyage des traits accumulés suivant la métaphore de l'encre qui sèche (un temps s'écoule avant que le trait ne soit automatiquement remplacé par sa courbe approximée) etc. Ainsi aidé par le système, l'utilisateur (pour peu d'être un expert du dessin à main levée) peut virtuellement dessiner tout ce qu'il veut.

Ce prototype, s'il est un exemple du genre, révèle aussi les limites de cette méthode de soutien. Tout d'abord, le modèle de dessin 3D n'est que filaire : le concepteur a pu positionner ses traits les uns par rapport aux autres dans le monde tridimensionnel, mais l'interaction s'arrête là : pas de reconstruction, ni de reconnaissance ou d'interprétation. L'ordinateur est incapable de tirer des «peaux» entre tous ces traits, si bien que le dessin peut vite visuellement devenir très confus (figure 29). La qualité volumétrique de l'objet étant inexistante, il est aussi complexe d'en percevoir les proportions, comme il est impossible de lui assigner des évaluations ou de modifier le modèle. Il faut ensuite reconnaître la difficulté de dessiner de façon interactive dans un environnement 3D dynamique, d'autant plus s'il n'y a pas de feedback visuel direct via une reconstruction dynamique du modèle. La vision humaine étant construite plutôt sur base de stimuli visuels 2D (voir section 4.4), il nous semblerait plus aisé de dessiner une première «face» de l'objet, quitte à ensuite manipuler le modèle pour poursuivre le dessin d'autres faces.

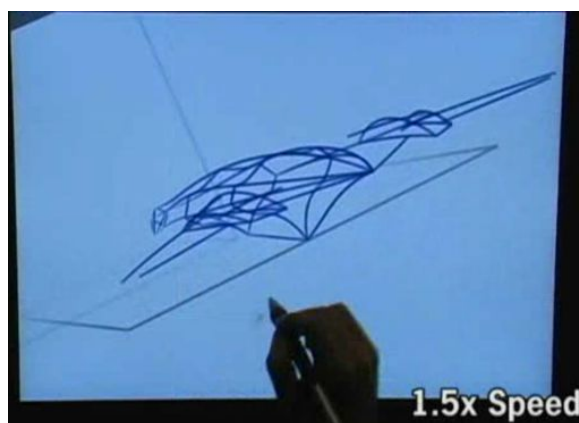


Fig. 29 - Capture d'écran de I Love Sketch : complexité visuelle du modèle filaire 3D. Extrait de (Bae, Balakrishnan, & Singh, 2011).

### 5.2.2. Reconstruction géométrique

La reconstruction géométrique va un cran plus loin dans l'accompagnement du concepteur : le système tente, en plus de capturer et de positionner le trait, de lui associer des relations dans un ensemble géométrique. L'ordinateur extrait automatiquement des régions du dessin, des formes géométriques ou des blobs fermés (Saund, 2003; Saund & Moran, 1994), grâce à un ensemble de relations topologiques et aux règles gestaltistes de la perception qui constituent selon certains l'avenir de la reconstruction géométrique de croquis (Company et al., 2004; Wuersch & Egenhofer, 2008). Il s'agit non seulement d'analyser comment le trait se connecte à ses voisins, mais aussi de savoir s'il est régi par des règles géométriques qui permettent de le positionner dans la 3ème dimension. Tous ces liens topologiques correspondent à des algorithmes complexes, dont on trouvera un résumé détaillé dans (Company et al., 2004).

Retenons qu'au sein de ces systèmes dits constructifs, il existe plusieurs sous-catégories de travaux. Certains systèmes, tels que le Sketch-VRML de (Jozen, Wang, & Sasada, 1999), fonctionnent sur une base semi-synchrone : l'utilisateur doit introduire son dessin dans le système, qui le traitera ensuite via les techniques de reconnaissance d'image et qui en proposera alors une reconstruction filaire plus ou moins précise qui pourra être révolutionnée et/ou extrudée.

D'autres systèmes développent la méthode épipolaire, déjà évoquée : soit l'utilisateur doit déclarer, par dessus son dessin, un système de mailles qui définit alors le plan de travail ; soit il doit dessiner son objet sous différentes vues orthogonales, qu'il doit ensuite positionner les unes par rapport aux autres (Fu, Zou, Chen, & Wu, 2010; Karpenko, Hughes, & Raskar, 2004; Tian, Masry, & Lipson, 2009). Notons qu'en dehors de certaines disciplines qui appliquent encore systématiquement le dessin à main levée selon les trois vues (vue de profil, de face et de haut, rarement exploitées à l'heure du numérique, mais autrefois très courantes en ingénierie mécanique par exemple), cette méthode est reconnue par ses défenseurs comme relativement lourde à réaliser (coût temporel, coût cognitif).

Une approche complémentaire est celle des systèmes dits *free-forms*. Les traits sont capturés et reconnus comme des contours fermés, que le logiciel transforme alors en patatoïdes. L'exemple le plus connu est Teddy, de (Igarashi, Matsuoka, & Tanaka, 2007) : pour chaque contour fermé reconnu, ce logiciel propose un squelette 2D approximatif, qui constitue en quelque sorte l'axe neutre de la forme 2D (figure 30). Tous ces axes deviennent ensuite axes de révolution de blobs, qui construisent un modèle complet (par exemple un nounours dodu). D'autres prototypes déclinent ce même principe et y ajoutent la possibilité de contraindre le volume par des arêtes cachées (reconstruction par T-junctions, PerSketch de (Saund, 2003; Saund & Moran, 1994), qui se construit également sur les règles de la perception humaine). Ce type de reconstruction, même s'il donne de bons résultats, reste difficilement utilisable en milieu professionnel, toutes les formes (notamment plus pointues et vives) étant «arrondies» par le système.



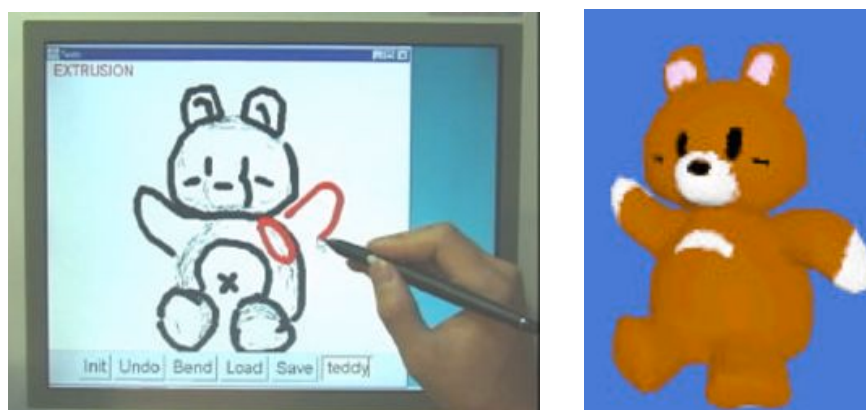


Fig. 30 - Teddy. Extrait de (Igarashi, Matsuoka & Tanaka, 2007).

Une dernière famille de systèmes constructifs exploite les règles régissant les projections parallèles ou perspectives pour la reconstruction (Huot, 2005; H. Lipson & Shpitalni, 1996; H Lipson & Shpitalni, 2007). Relativement robustes pour des objets mécaniques ou architecturaux parallélépipédiques, ces systèmes identifient dans un premier temps les régularités géométriques du dessin (parallélisme, symétrie, angles supposés droits, planéité de deux faces, isométrie,...). Ils associent à chaque trait une signification géométrique : un trait devient une arête, vive ou cachée, un trait de contour, un trait de symétrie (Piquer, Martin, & Company, 2004) etc. La reconnaissance de traits peut être instantanée ou asynchrone : chez (Guéna & Untersteller, 2006; Lee, Feng, Grimm, & Gooch, 2008), l'utilisateur doit introduire un sketch scanné et repasser les traits d'arêtes pour les spécifier au système. Ces systèmes restent parfois peu intuitifs à utiliser : ils requièrent tout d'abord que le concepteur s'exprime selon une projection géométrique correcte et selon un point de vue tel qu'aucune arête ne soit cachée par une autre. Certains prototypes exigent respectivement que toutes les arêtes, mêmes cachées, apparaissent sur le dessin. Ils présentent néanmoins l'avantage qu'un modèle 3D cohérent puisse être déduit de cette géométrie, depuis que Lipson et Shpitalni (2007) sont parvenus à refermer des «peaux» par dessus leur modèle 3D filaire.

### 5.2.3. Reconnaissance et interprétation (sémantique) des traits

La capture, la reconnaissance et la reconstruction des traits en une entité graphique cohérente peuvent encore être élevés à un niveau supérieur avec leur interprétation - parfois sémantique. Certains systèmes vont en effet au delà, lorsque le contexte le permet. Dessy (2002) définit 3 facteurs déterminants pour une première reconnaissance : la présence intense de primitives géométriques, des propriétés intrinsèques de ces primitives qui se répètent et des relations qui les lient qui se répètent également (juxtaposition, contact, inclusion, interpénétration, etc.). Si l'on veut passer au niveau supérieur, soit la reconnaissance d'un symbole, il faut alors que la forme géométrique de base ainsi reconnue déclenche un processus d'identification (régé par certaines règles, qui garantissent l'unicité du symbole), qui sache également ne pas tenir compte des formes superflues.

Peu de domaines présentent une grammaire de traits et de symboles qui ait permis la mise au point de prototypes suffisamment robustes. Les premiers chercheurs à voir dans l'interprétation des traits un potentiel pour les phases préliminaires de la conception se sont d'abord penchés sur les systèmes d'analyse de croquis sur base des «*shape-grammars*». Littéralement «grammaire de formes», ces méthodes consistent à décomposer des croquis en primitives de base, à en analyser les composants, à trouver les relations qui les lient et à tenter de résumer tous les mouvements d'une conception à un ensemble limité de règles, dites de transformation (couper, combiner, translater,... un ensemble lui aussi limité de primitives géométriques). Tout d'abord appliquée au domaine de l'architecture (cf. travaux de Terry Knight et de ses collègues), la méthodologie a ensuite été appliquée au dessin industriel (Lim, Prats, Chase, & Garner, 2008 ; Prats, Lim, Jowers, Garner, & Chase, 2009). Une fois la taxonomie de formes et de règles définie, l'ordinateur peut relativement facilement les pister au sein d'un dessin, les pister aussi tout au long d'un processus et détecter ainsi les transformations. L'interprétation robuste de n'importe quel croquis n'est cependant pas encore d'actualité, étant donné la multitude d'interprétations différentes qui peuvent exister (Prats, Lim, Jowers, Garner, & Chase, 2009). Le principe s'est ensuite peu à peu élargi : des systèmes de reconnaissance d'écriture, mais aussi de diagrammes se sont inspirés de cette logique (voir les travaux de (Xu et al., 2002) et le prototype LADDER, de Hammond et Davis (2005)).

Avec l'interprétation de schémas électriques (Gennari, Kara, & Stahovich, 2004), le trait reconnu ne prend plus seulement une signification géométrique et topologique, mais aussi sémantique. Au symbole peut désormais s'associer un sens donc, mais aussi un ensemble de propriétés. The Electronic Cocktail Napkin de Gross (1996) compare des «glyphes» à une base de données de géométries de base (extensible) et analyse les relations existantes entre les géométries reconnues. Le système, s'il reconnaît les glyphes et les géométries, peut alors les rectifier et cristalliser certaines contraintes des ensembles ainsi construits. Un prototype connexe, développé par Kristin Mayfield Anderson (étudiante), exploite ces glyphes et ces ensembles pour leur associer des images et informations diverses issues d'une base de données complémentaire.

En ingénierie mécanique, un des systèmes les plus robustes est ASSIST (Alvarado & Davis, 2001; Davis, 2002) qui étend les principes de LADDER pour simuler, en temps réel, les réactions cinématiques d'objets soumis aux lois de la physique (figure 31). ASSIST tire parti du fait que la bibliothèque nécessaire et suffisante reste, dans cette discipline, relativement restreinte.

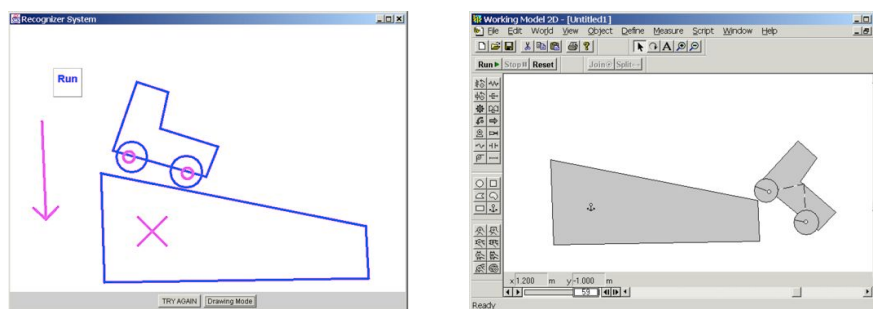


Fig. 31 - ASSIST. Extrait de (Alvarado & Davis, 2001).

Dans certains systèmes appelés «*content-based model retrieval*», le symbole reconnu est comparé à une banque de données pré-existante pour être remplacé par son alter-ego standardisé, un objet 3D par exemple (Kanai, 2005 ; 2008). Le prototype VR SketchPad de Do (2001) exploite cette technique en architecture pour positionner du mobilier standard dans un monde 3D.

Dans la famille des systèmes interpréteurs multi-agents, nous nous permettons de citer les travaux du LUCID, plus particulièrement ceux de (Leclercq & Juchmes, 2002) et leur prototype EsQUIsE d'interprétation sémantique, en temps réel, de croquis architecturaux. En interceptant géométries, types de traits (parois ou baies), annotations et symboles architecturaux universels, le système est capable de proposer au concepteur non seulement une modélisation 3D auto-générée du bâtiment en cours de conception, mais aussi quelques évaluateurs (thermiques, topologiques). Plus récemment, Casella, Costagliola, Deufemia, Martelli et Mascardi (2006) exploitent ces agents pour la capture et l'interprétation de diagrammes architecturaux, tandis que Demaret (LUCID) reconsidère les fondements d'EsQUIsE et construit NEMo, un nouveau prototype d'interprétation asynchrone de croquis 2D architecturaux (figure 32). Ces systèmes multi-agents, si ils souffrent encore de quelques lacunes techniques (difficultés de modélisation de formes plus complexes), proposent des solutions intéressantes de soutien dédié à la conception préliminaire à condition que le domaine cible présente une grammaire graphique hautement géométrique et/ou symbolique et à condition qu'un contenu sémantique propre puisse y être associé.

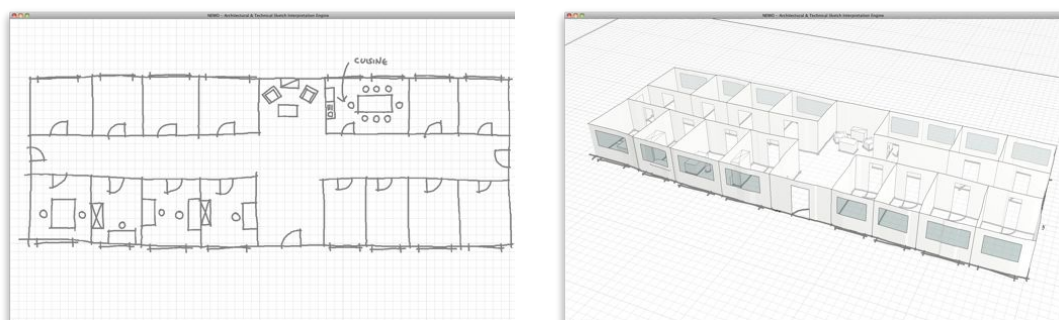


Fig. 32 - NEMo, dans son stade actuel de développement. Avec l'aimable autorisation de JN Demaret, LUCID, 2011.

### 5.3. Prototypes à fonctionnalités ciblées

D'autres prototypes peuvent également être considérés comme facilitateurs du processus de conception préliminaire, mais présentent des fonctionnalités beaucoup plus pointues et locales. Nous classons ici tous les prototypes qui tentent de faciliter la recherche d'idées et l'inspiration (bibliothèque d'images de Mougenot ; bibliothèque d'esquisses de (Schenk, 2007)) ; qui tentent de faciliter le processus de conversation réflexive avec le dessin (Bailey, 2000) ; ou encore qui tentent de faciliter les processus de prise de décision en architecture (Galle, 1989), par capture et reconstruction du design rationnelle (Maher, 1985 ; Rittel & Kunz, 1970 ; cités par (Do, 1996) ; voir également à ce sujet les travaux de (Burge & Kiper, 2008)). Nous pouvons également souligner des prototypes originaux tels que «Light Pen», qui permet de «dessiner» de la lumière dans un espace architectural 3D et d'en évaluer ainsi les impacts (Jung, Gross, & Do, 2003) ou encore les aides à la conception d'interfaces graphiques telles que SILK (Landay & Myers, 1995) ou les travaux de (Coyette, Faulkner, Kolp, Limbourg, & Vanderdonkt, 2004).

Une dernière catégorie de logiciels que nous voudrions présenter tente de soutenir le travail collaboratif. Le système NetDraw de Dongqiu Qian par exemple est une interface WIMP de collaboration et de partage d'annotations et de dessins en 2D, via internet. Ce système permet à plusieurs utilisateurs connectés de collaborer sur un même espace (cité par (Gross, 1999)). Plus récemment, le logiciel SketSha du LUCID supporte également le partage instantané de croquis et d'annotations mais l'outil de façon beaucoup plus intuitive : l'interface WIMP disparaît au profit d'une interface au stylo .

L'annotation et le tag d'information, dont l'importance pour le processus de conception a déjà été soulignée par (Lieberman, 1993), sont soutenus par le système Annot'Action du G-SCOP (dont les principes sont décrits dans (Hisarciklilar & Boujut, 2008)) ou encore Redlining project de Thomas Jung. Plusieurs participants peuvent ainsi tagger et annoter un modèle 3D dynamique et en couleur d'un espace architectural. L'interface capture et enregistre les annotations, qui peuvent ensuite être réutilisées par un autre utilisateur durant la session suivante. Elle permet également d'interagir en temps réel avec le modèle, en changeant les couleurs, les textures ou la position de certains éléments du modèle (cité par (Gross, 1999)).

### 5.4. Questions ouvertes

La recherche appliquée, malgré les grandes avancées qu'elle a réalisé en une vingtaine d'années, laisse encore ouverts de nombreux débats. Des problématiques sont encore non résolues : c'est le cas par exemple des systèmes de reconstruction qui proposent des modèles trop peu aigus (Olsen et al., 2009) ; c'est le cas également de modèles qui ne sont pas encore biunivoques et qui ne le seront jamais d'après (Company et al., 2004).

D'autres grands challenges restent ouverts : c'est le cas du passage automatisé du dessin (2D ou 3D) au modèle numérique 3D. Cette transition inclut de gérer l'imprécision et l'incomplétude du dessin, flou, ambigu et incorrect dans sa construction géométrique (non respect des règles de la perspective par exemple) et de gérer l'usage des ombrages, des hachures et des épaisseurs de traits comme indices cruciaux de l'expression du projet (Johnson, Gross, Hong, & Do, 2008). Elle exige également de trouver d'autres pistes lorsque les principaux indices du dessin, indispensables à son interprétation, font défaut : quel nouveau type d'interaction pourrions nous mettre au point s'il s'avérait en effet correct que les croquis en design industriel ne comportent pas suffisamment de symboles, de primitives et de règles géométriques ? Et, plus fondamentalement, ce nouveau type d'interaction s'avèrerait-il réellement utile ?

Plusieurs problématiques semblent plus tenir du postulat que de la décision murie par l'observation des pratiques réelles. On peut se demander par exemple si le système incrémental, de plus en plus plébiscité (qui interprète en temps réel le dessin qui se forme et en donne un feed-back lui aussi en temps réel), n'impacte pas négativement l'activité de l'utilisateur. De même les traits doivent-ils être considérés selon leur apparition chronologique, ou vaut-il mieux les traiter par la méthode du zonage, ou encore selon les règles de la perception humaine (Saund, 2003; Saund & Moran, 1994) ? Et ensuite, doit-on traiter les traits multiples comme un «bruit visuel», à filtrer et nettoyer impérativement ? Cette superposition des traits n'a-t-elle pas un sens pour la construction du projet (mais peut-être seulement à certains stades) ? Une large majorité de la littérature semble également nourrir un avis critique vis-à-vis des logiciels qui nécessitent un certain apprentissage (de gestes, par exemple). Mais cet apprentissage, s'il allège par après certains processus cognitifs, ne pourrait-il pas *in fine* s'avérer bénéfique ? Si les logiciels sont effectivement plus efficaces lorsqu'ils sont dédiés à un domaine, ne pourrait-on pas proposer à l'utilisateur de s'intégrer plus activement dans l'apprentissage et le développement du système ?

L'article de référence de (Olsen et al., 2009), qui a largement contribué à la présentation de cet état de l'art, est représentatif de la philosophie de travail généralement empruntée par ces communautés de recherche appliquée.

Constatant les limitations de l'un des outils médiateurs généralement exploités, elles se hâtent de proposer un nouveau principe d'interaction et d'interface, sans se poser une question qui nous semble réellement cruciale : quand, pourquoi et comment le designer a-t-il réellement besoin d'une part, d'une interprétation de son dessin à main levée et d'autre part, d'un modèle 3D dont il semble que toute la communauté scientifique exige qu'il soit automatiquement généré ?

D'après Achten, la plupart des prototypes proposés manquent d'une approche globale : ils posent tous des questions pertinentes, s'attaquent à des problématiques certes existantes mais sans vraiment précéder l'analyse systématique des traits et la mise au point d'une solution de l'analyse plus compréhensive de l'activité (Achten, 2005).

## 6. Positionnement théorique - L'approche dichotomique vs. complémentaire des objets médiateurs

Nous constatons que les particularités et usages des objets médiateurs sont très fréquemment étudiés suivant un mode dichotomique (dessin vs. logiciels CAO ; représentations internes vs. externes). Cette approche ne parvient pas à mettre en évidence l'évolution des usages et pratiques ni à témoigner de la transition en cours depuis l'avènement des outils de CAO. Pour dépasser ces limitations, nous proposons notre propre modèle d'analyse, qui réfute la confrontation des qualités et opte pour une étude des complémentarités.

### 6.1. Constat : prégnance de l'approche dichotomique

La majeure partie de la littérature adopte, lorsqu'il est question des outils de conception (et, par extension, des représentations), un principe argumentaire similaire construit sur une base dichotomique. Le plus souvent en faveur du dessin à main levée (mais pas toujours, les points de vue évoluant, comme nous l'avons vu), la plupart des auteurs opposent les avantages et inconvénients du dessin et des logiciels de CAO en tant que soutien des phases préliminaires de la conception (Cross, 1984 ; Tovey, 1989 ; Fish & Scrivener, 1990 ; Suwa & Tversky, 1996 ; Leclercq, 2005 ; Lebahar, 2007 ; Dorta, Lesage, & Pérez, 2009 ; Olsen et al., 2009). Le débat culmine en général en toute fin de conception préliminaire, instant où les concepteurs sont sensés abandonner le croquis pour passer définitivement à la CAO. De même, dans le domaine de la recherche appliquée, le dessin à main levée semble faire l'état de beaucoup plus d'attention, moins de recherches tentant par exemple de simplifier les mécanismes et fonctionnalités des logiciels de CAO actuellement utilisés.

Même s'il semble qu'aucun des outils ni des prototypes ne puisse effectivement constituer à lui seul un soutien total et efficace à la conception préliminaire telle qu'elle est définie par les contraintes contextuelles contemporaines, bon nombre d'arguments tendent pourtant aujourd'hui à assouplir cette traditionnelle dichotomie.

Nous ne défendons ici ni l'un ni l'autre outil : à nos yeux les concepteurs font usage des propriétés respectives des outils selon leurs intérêts, au moment où ils en ont besoin, sans tenir compte le moins du monde de leur mode d'emploi théorique (il n'existe pas selon nous de «bonne manière» d'utiliser un objet médiateur). S'il est vrai que les logiciels de CAO supportent de façon inappropriée les mécanismes essentiels de la conception préliminaire (individuelle ou collaborative), qu'ils sont en contradiction avec la plupart des processus cognitifs et que la perte de vitesse de l'usage du dessin à main levée mène à des processus moins efficaces, il nous faut

malgré tout reconnaître que les concepteurs font fi de ces constats alarmants, ne tirent pas parti des prototypes que la recherche met à leur disposition et font bel et bien évoluer les usages dans ce sens. Ce qui pourrait apparaître comme un étrange paradoxe - l'usage d'objets inappropriés - traduit plutôt la capacité du concepteur à s'adapter à un environnement contraignant, à tirer le meilleur parti des outils à sa disposition, quitte à les dévier de leurs finalités originelles.

## 6.2. Parti théorique : l'étude des complémentarités des objets médiateurs

Nous remettons en cause le modèle dichotomique d'analyse des objets médiateurs pour tendre vers une analyse comparée des complémentarités, une étude des caractéristiques adoptées ou rejetées dans les contextes réels d'usage. Nous suggérons qu'une fois qu'un objet est intégré dans les pratiques métier, il peut (in)efficacement équiper le processus : l'impact entre l'objet (et ses adaptations) et les usages professionnels (et leurs évolutions) est réciproque. Nous ne considérerons pas deux profils opposés de designers travaillant dans des mondes dichotomiques et exploitant des schèmes incompatibles (i.e. les schèmes traditionnels du dessin *vs.* les schèmes numériques des outils CAO), mais plutôt, comme le montre la figure 33, un profil plus flexible de concepteur exploitant les objets sur un schème complémentaire, tirant profit de leur diversité et de leurs contributions respectives, en regard des contextes et contraintes apparaissantes.

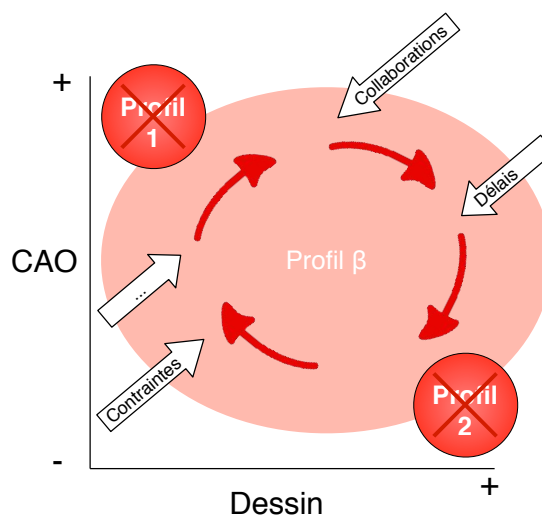


Fig. 33 - Le démantèlement de l'approche dichotomique au bénéfice d'une étude des complémentarités.

Peu de recherches mettent réellement en perspective les usages des objets médiateurs sur base de la réalisation d'une tâche de conception (Bilda & Demirkan, 2003). Au vu de l'approche qui vient d'être proposée, nous désirons interroger l'évolution de ces usages au cours de processus de conception en contextes réels, pour comprendre les véritables raisons qui motivent la sélection de ces objets médiateurs.

### 6.3. Evolution des questions de recherche

Nous résumons ici les principales questions de recherche, telles que présentées en section 3.2 du chapitre 1 et nous les annotons de manière à figurer leurs évolutions à la suite de l'état de l'art qui vient d'être achevé et du modèle théorique propre à notre recherche qui vient d'être proposé.

- En quoi consiste aujourd'hui et depuis l'avènement des outils de Conception Assistée par Ordinateur, la notion de conception préliminaire ? Quelle est son évolution et comment les objets médiateurs y sont-ils intégrés ?
- Comment les outils numériques et traditionnels, mais aussi les représentations qui y sont liées, s'articulent-ils dans leurs usages tout au long du processus de conception préliminaire ? Comment contribuent-ils au processus de conception ? Quels sont leurs impacts et spécificités respectifs ?

*Comment ces objets médiateurs (outils + représentations) sont-ils utilisés, mais aussi déviés de leurs usages principaux ? Comment, pourquoi, à quel moment les concepteurs font-ils appel à telle spécificité de tel objet plutôt qu'une autre ?*

- En particulier, quels sont les mécanismes actuels de définition et de passage entre représentations 2D et 3D d'un objet ?

*Quelle importance donner à cette transition et comment traiter les traits qui la structurent ? Quels sont les besoins réels des concepteurs à ce sujet ? Comment gérer efficacement la césure entre modèle conceptuel et modèle «de développement» ?*

- Quels sont les contenus significatifs des traces (ou représentations) externes générées ?

*Et parmi ces contenus significatifs, quels niveaux d'abstraction, quels contenus devrions-nous sauvegarder, améliorer ?*

- Quels impacts respectifs le contexte du projet (contraintes, délais, type de projet, attentes du client, modalités du travail collaboratif, ...) et les usages des outils peuvent-ils avoir l'un sur l'autre ? Quels impacts la profession naissante de «dessinateur» a-t-elle sur la pratique du design industriel, en particulier en ce qui concerne la répartition des tâches, les modalités du travail collaboratif, l'usage des outils et l'évolution des expertises ?

*Quelles sont les caractéristiques des objets médiateurs «communicables» ? Comment tirer parti de ces caractéristiques ?*



- Et, en conséquence, quelles spécificités de la conception préliminaire, ses usages et ses objets médiateurs, faudrait-il conserver, ou au contraire améliorer, «augmenter» ?

*Comment pourrions-nous tirer parti des complémentarités des objets médiateurs actuels ?*

## 7. Enjeux de la recherche

Indépendamment des enjeux déjà soulignés dans la présentation du contexte et auxquels ce projet de recherche tentera de répondre globalement, nous résumons ici les intérêts que ce travail présente pour les domaines qu'elle réunit.

*Pour le domaine du design industriel :*

- évaluer les pratiques, usages et déviations des outils actuels, définir les variants et invariants de l'activité, ses aspects indispensables, superflus, perfectibles, afin d'augmenter les connaissances générales du domaine et servir des objectifs plus larges tels que la mise au point de méthodes d'enseignement ou d'un code de «bonne pratique» dans l'usage des objets médiateurs, par exemple ;
- «augmenter» des phases pertinentes du processus de conception préliminaire, tout en assurant un équilibre entre respect des pratiques, adaptations, adoptions et innovation ;
- définir les conditions d'une activité collaborative locale (instantanée ou de réappropriation) plus efficace.

*Pour la communauté de recherche en ingénierie de conception :*

- repositionner l'ingénierie et ses méthodes par rapport à la conception préliminaire ;
- définir des modèles et principes élargis de soutien à la conception préliminaire ;
- prouver la pertinence de l'étude des objets médiateurs (usages, contenus, représentations et mécanismes de transformation) ; souligner leurs potentiels pour la mise au point de nouvelles interactions homme-machine ;
- démontrer la plus-value d'une analyse des besoins réels outillée par les méthodologies dédiées de l'ergonomie.

*Pour la communauté de recherche en computer graphics :*

- établir les pertinences respectives des approches sémantiques, symboliques et taxonomiques pour la capture, la reconstruction et l'interprétation des traces graphiques ;
- se saisir de l'essence de la représentation (personnelle ou communicable), base saine de travail ;
- proposer un modèle neuf d'étude des cycles de traits qui structure la «temporalité d'assistance» ;
- en particulier, prouver que la temporalité de certaines assistances actuelles n'est pas adaptée aux besoins réels des concepteurs ;
- prouver l'intérêt d'une approche multi-modale et complémentaire de l'étude des unités graphiques ;
- se positionner vis-à-vis des prototypes actuels, en référence aux besoins des utilisateurs à chaque étape du processus.

*Pour la communauté de recherche en psychologie et ergonomie cognitive :*

- appréhender en quoi la question des modalités d'interactions avec l'outil informatique, dès la tâche de conception préliminaire en design industriel, peut être directement liée à des problématiques telles que productivité, qualité de vie au travail ou encore performances individuelles et collectives ;
- diffuser les valeurs ajoutées qu'une approche ergonomique peut apporter à un projet de recherche initialement dédié à l'ingénierie ;
- compléter les connaissances sur les activités expertes de la conception et fournir ainsi des moyens d'action plus efficaces en matière de formation et ergonomie de la conception.



## Chapitre 3 - Etude des objets médiateurs, opérationnalisation des questions de recherche et traitement des données

Les deux chapitres précédents ont fixé le contexte dans lequel notre projet de recherche évolue et les questions de recherche dont nous désirons approfondir l'examen. Nous avons également démontré comment l'étude des objets médiateurs (ces traces de l'activité de conception qui constituent notre unité d'analyse principale) peut être efficacement outillée par les méthodologies dédiées de l'ergonomie cognitive. Le chapitre trois présente les cinq études qui ont été mises sur pied et comment ces méthodologies leur ont été appliquées. Quelques observations préliminaires sont avancées : elles fixent les variants et invariants de ces études et nourrissent la définition de grilles d'analyse qui donnent naissance aux résultats fondamentaux présentés dans le chapitre suivant. Toutes ces études et tous ces résultats, intermédiaires ou non, construisent conjointement notre compréhension des processus et nourrissent la mise au point d'un système d'assistance à la conception préliminaire en design industriel.

### 1. Articulation des différentes études

Nos questions de recherche, complétées à la fin du chapitre précédent, peuvent être résumées à un ensemble de 6 thématiques :

- les processus de conception préliminaire (individuels ou collaboratifs) ;
- les impacts du contexte «métier» ;
- les usages des objets médiateurs (dessin à main levée ; logiciels de Conception Assistée par Ordinateur ; représentations externes résultantes) en conception individuelle ou collaborative ;
- les spécificités des objets médiateurs (potentiels ; limitations) et leurs pertinences ;
- les mécanismes de transition entre représentations 2D et 3D d'un objet ;
- la structuration et le contenu des représentations externes générées (unité graphique ; formalisme) et leurs pertinences.

Ces six thématiques, ainsi que notre volonté de construire les bases d'un nouveau type d'assistance à partir des pratiques «métier», excluent un protocole de recherche uniquement basé sur des expérimentations ciblées en laboratoire. C'est sur le terrain, au sein d'équipes impliquées dans des projets de conception réels que nous décidons

de recueillir un maximum de données nécessaires. Ces observations *in situ* fournissent tous les éléments de contexte (programmés ou inopinés) et garantissent aux concepteurs un environnement de travail écologique : ils ont à leur disposition tous les outils dont il font habituellement usage et peuvent tout à fait librement interagir, selon les besoins, avec leurs collègues. En nous intégrant dans diverses équipes, au sein de projets à divers états d'avancement (avec chacun leurs délais, contexte et contraintes propres), nous observons une palette certes non exhaustive mais représentative des facettes de la conception.

Cette approche des objets médiateurs au sein de contextes professionnels de la conception se fait dans un premier temps au travers de deux études, nommées PRO\_COLLAB, pour «projet collaboratif» et PRO\_DUO, pour «projet en duo». La première étude, au sein d'une équipe de 8 concepteurs, dresse un panorama le plus large possible des variétés de la conception. Les périodes de travail observées, principalement des revues collaboratives de projets, constituent en effet un recueil transversal de données très riches qui nous permet de sélectionner ensuite une «fenêtre d'action», «bulle temporelle» réduite au sein du processus global : c'est l'étude PRO\_DUO. Au cours de celle-ci, deux concepteurs (qui combinent les compétences de conception mais aussi de modélisation) sont suivis durant les toutes premières heures d'un projet, dans le contexte particulier d'un marché public de fournitures. Cette seconde étude, longitudinale cette fois, s'intéresse plus en détail aux collaborations instantanées qui s'instaurent entre les deux sujets aux expertises complémentaires.

Un protocole expérimental, plus ciblé et plus contraignant, faisant appel à un matériel d'input plus particulier, est ensuite mis en place pour les deux études suivantes qui constituent le recueil actif de données pour l'étude fine des unités graphiques. La première d'entre elles, dénommée ANOTO, oscille en réalité entre l'expérimentation et l'observation d'un processus réel de conception : en acceptant d'utiliser un stylo digital Anoto® pour la réalisation de tous ses dessins durant l'une de ses commandes, le sujet-designer nous autorise à en récupérer toutes les traces (que l'on peut ensuite «rejouer» de façon asynchrone) sans qu'aucun dispositif intrusif de capture du trait n'ait dû être mis en place ni que le designer n'ait dû réellement modifier ses habitudes. La seconde expérimentation, longitudinale elle aussi, se construit sur un protocole beaucoup plus restrictif. Appelée TRAGERE, en référence au dispositif technique d'entrée utilisé (un logiciel prototype développé au LUCID par (Jeunejean, 2004), repris ensuite par JN Demaret et tournant sur une tablette Cintiq®) mais aussi en référence aux processus de «TRANsfert - GENération - REappropriation» observés, cette expérimentation nous permet de comparer les processus de conception de 13 designers, à qui il est demandé tantôt de générer, tantôt de se réapproprier et de faire évoluer un projet (simple et court) de conception industrielle. Ces deux études ANOTO et TRAGERE nous permettent d'évaluer la pertinence des traits comme unités graphiques de référence pour la mise au point d'un outil d'assistance.

La cinquième et dernière expérimentation, FORMA\_V, sollicite enfin les 13 mêmes sujets et interroge les représentations graphiques externes générées par l'ordinateur. En demandant aux sujets de comparer 5 images de formalismes différents, nous tentons

de capturer la façon dont elles sont perçues et leurs pertinences au sein d'un processus de conception.

La figure 7 de la section 3.2 du premier chapitre peut donc être opérationnalisée (voir figure 34) : nous passons successivement de l'activité (observée sous un angle général pour en comprendre les évolutions, pour définir les besoins et les pertinences), aux objets médiateurs, unités de base de notre analyse et pour arriver enfin au trait, dénominateur commun des représentations externes générées ; les cinq études couvrent ainsi les six thématiques principales de la recherche et en affinant successivement l'examen.

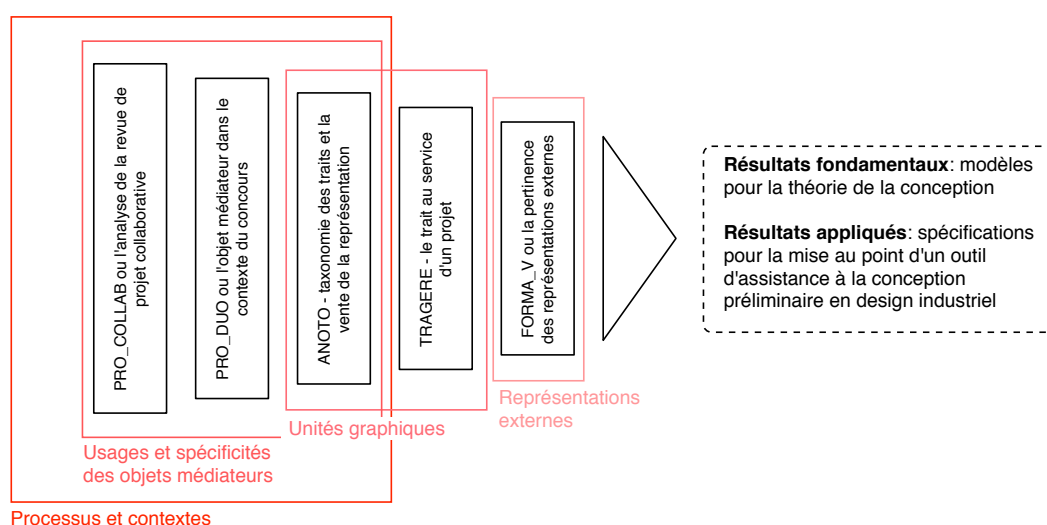


Fig. 34 - Opérationnalisation et articulation des 5 études structurant notre projet de recherche.

Notons également que chacune des études nous permet d'aborder les processus de conception de produits assez différents, à des instants «*t*» particuliers. Si l'observation PRO\_COLLAB nous propose le suivi, à divers stades, de la conception de corps de chauffe (produits intrinsèquement technologiques) et dresse de ce fait un panorama global de toutes les étapes du processus, PRO\_DUO pour sa part nous emmène dans la conception innovante d'une pièce de mobilier ; ANOTO plutôt dans la re-conception et la production d'un prototype hardware existant, tandis que les sessions courtes de TRAGERE esquissent les objets les plus divers, allant de la pièce de vaisselle au sèche-cheveu, ou encore au bateau.

La section suivante présentera toutes les méthodologies ergonomiques auxquelles nous faisons appel pour outiller les études dont il vient d'être question. A chaque étude, ensuite, seront associés :

- un résumé de la situation et du principal objectif sous-tendu ;
- une présentation du contexte et de l'équipe ;
- une description rapide de l'objet de la conception ;
- la ou les méthodologie(s) sélectionnée(s) ainsi que les détails du déroulement.

Nous présenterons également très brièvement et de façon très factuelle, quelques observations intermédiaires propres à chaque situation, qui en constituent les spécificités, variants et invariants essentiels. Le codage et traitement des données suivis des principaux résultats seront présentés à la suite, sur une base comparative qui nourrit plus efficacement la discussion. Les cinq études construisent en effet conjointement notre compréhension globale des mécanismes de conception et d'usage des objets médiateurs et participent activement à la conceptualisation du système d'assistance. L'interpénétration des résultats est telle que nous préférons en conséquence dissocier la présentation factuelle des traitements qualitatifs et quantitatifs des résultats.

Cette interpénétration est figurée par un schéma ensembliste qui met en valeur, étude par étude, les thématiques les plus largement considérées (spécimen en figure 35). Ainsi, si un mot clé apparaît en gras, c'est qu'il est plus efficacement soutenu (qualitativement et quantitativement) par l'étude dont il est question. En outre, plus un résultat est inclus dans un nombre important d'ensembles, plus il est représentatif d'un panorama global de la conception.

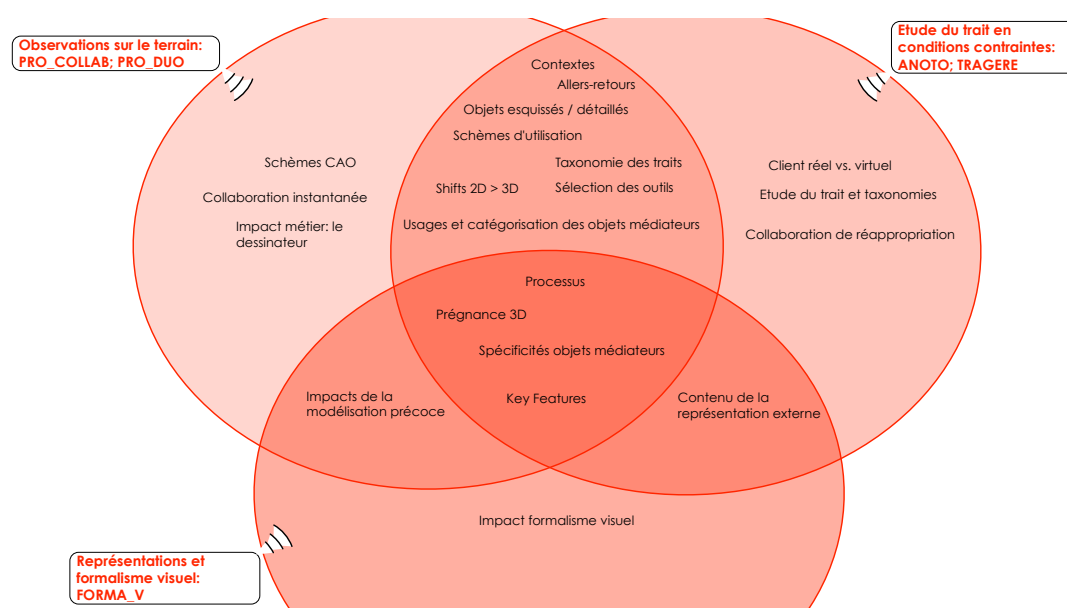


Fig. 35 - L'interpénétration des résultats offerts par chaque étude suggère une discussion comparative des apports respectifs.

## 2. Les méthodologies ergonomiques de recueil des données

Cette section ne vise pas une étude comparative de toutes les méthodologies mises à disposition par l'ergonomie cognitive pour l'examen efficace de l'activité de conception, une telle discussion dépassant les objectifs de ce projet de recherche. Nous nous contentons ici de présenter les trois principales techniques sélectionnées durant notre Master Recherche en ergonomie : les entretiens semi-directifs ; la revue des



pratiques «métier» à partir d'analyses rétrospectives et les observations in situ (instantanées et/ou a posteriori).

La technique des entretiens semi-directifs, individuels ou en binôme, nous paraît adaptée pour plusieurs raisons : elle a le mérite tout d'abord de laisser une certaine liberté à l'opérateur interrogé, les risques de réponses dirigées ou biaisées étant ainsi au maximum évités. Elle offre ensuite à l'intervieweur une certaine marge de manoeuvre, les questions à poser étant préparées à l'avance et classées en de grandes thématiques de conversation, mais sans que l'ensemble de la discussion ne soit strictement pré-défini. L'intervieweur peut de ce fait proposer ces thématiques à l'opérateur au fil du déroulement de son discours, sans que ce dernier ne se sente jugé ni pressé par un déroulement strict de questions. Il revient cependant à l'intervieweur de garder «la main» sur la conversation, en redirigeant en finesse le sujet afin d'éviter les écarts trop importants par rapport aux thématiques d'intérêt : pour se faire, des techniques bien connues de relances et reformulations existent.

Une liste de questions de base est utilisée au fil des 5 études<sup>1</sup> (figure 36). Elle structure l'entretien en trois périodes distinctes. Une première période de questions à caractère généraliste permet de rassembler les informations nécessaires à la définition précise de la population ; chaque profil de designer est recensé en détail, ce qui nous permet d'affirmer la qualité et la diversité de l'échantillon sélectionné. Une seconde période de questions s'intéresse aux processus de conception, aux modes opératoires, aux modalités collaboratives et à l'utilisation des outils médiateurs.

Ces thématiques sont abordées au travers de (si possible) deux analyses rétrospectives, telles que présentées dans (Bellès, 1994; Wolff, Burkhardt, & de la Garza, 2005). Il a été demandé au préalable aux opérateurs interrogés de préparer le plus de traces possible (croquis, photos, maquettes, modélisations 3D, plans, ...) de deux des travaux de conception qu'ils considèrent comme les plus aboutis ou en tout cas les plus représentatifs de leur travail. Au cours de l'interview, il leur est demandé de «dérouler verbalement» le processus de conception de ces projets et l'usage des traces de référence préparées ancre efficacement le verbatim dans une réalité tangible. Cette remise en situation permet en effet à l'opérateur d'accéder plus facilement à posteriori aux données nécessaires, les documents et objets divers soutenant la verbalisation et l'accès à la mémoire. L'intervieweur quant à lui exploite ces traces pour reconstruire l'historique du projet et détecter les différents facteurs d'importance. En pratique, toutes les interviews sont enregistrées, toutes les traces utilisées lors de ces analyses rétrospectives sont photographiées et scannées, un système de capture d'écran dynamique permet également d'enregistrer toutes les interactions écran-souris. L'intervieweur peut donc à loisir revenir sur le contenu de ces interviews pour affiner leur analyse qualitative.

Une troisième période de questions à caractère plus ouvert, interrogeant l'opérateur sur ce qu'il pense globalement de la CAO, ses espoirs et ses attentes quant à son évolution, clôt l'interview commune aux cinq études.

---

<sup>1</sup> Notons au passage que cette grille d'entretien est directement inspirée des grilles d'entretien exploitées durant les «39 conversations» présentées en section 3 du chapitre 1.

<p><b>Informations à caractère général.</b></p> <p>Depuis combien de temps exercez-vous la profession de designer ? Quel est votre parcours professionnel, votre formation ? Dans quel est votre rôle au sein de l'entreprise ? Quelles sont les tâches qui vous sont assignées ? (prescrit) Modélisez-vous vous même vos projets ? Que faites vous au quotidien ? Combien de projets gérez vous par an ? Travaillez vous seul ou en équipe ? A quel moment de la conception ? Avec quels collaborateurs généralement ? (et pourquoi ceux là ?)</p> <p><b>Fiche technique des projets - début des verbalisations rétrospectives.</b></p> <p>Contraintes particulières de ce projet ? Commande, initiative personnelle ou d'entreprise ? Délais ? Collaborateurs ? Contraintes de départ ? Contraintes générales ?</p> <p><b>Processus de conception, place des outils dont l'esquisse.</b></p> <p>Comment ce projet a-t-il débuté ? De quelles informations disposiez vous au début du projet ? Aviez vous toute l'information qui vous était nécessaire ? Avez vous cherché de l'information complémentaire ? Si oui, laquelle et comment ? Quelle a été ensuite votre méthode de travail ? Quelle a été la méthodologie globale de fonctionnement du groupe ? Quels outils (dessin, maquette, CAO, proto, ...) utilisez-vous et à quels moments ? Comment décririez vous votre façon de dessiner/modéliser ? Par quoi commencez vous lorsque vous dessinez/modélisez ? Pourquoi dessinez-vous/modélisez vous ceci ? A quoi cela sert-il ? SI passation au dessinateur, qu'attendez-vous en retour ? Faites vous des allers-retours entre le dessin et la CAO ? Si oui, pourquoi et à quel moment ?</p> <p><b>Place de la CAO - schème d'utilisation de l'outil.</b></p> <p>Quels outils CAO utilisez vous ? Pourquoi ? Avez vous reçu une formation ? A quel moment les utilisez vous ? A quel moment de votre conception en avez-vous besoin ? Que pensez vous de ces outils ? Citez les avantages/inconvénients que vous leur voyez par rapport aux autres outils utilisés (en général, par rapport au dessin). Utilisez vous ces outils toujours de la même manière ? Si vous ne les utilisez pas vous même, qui le fait ? Comment vos collaborateurs les utilisent-ils ?</p> <p><b>Représentations.</b></p> <p>Pourquoi choisir cette manière-ci (cet outil) pour représenter votre objet à ce moment-ci ? Pourquoi ce genre de représentation et pas un autre ? Quel «contenu» de cette représentation vous intéresse ? Cette représentation ressemble-t-elle à l'image que vous vous faites de l'objet ? Quelles limitations/avantages voyez vous à ce type de représentation ? Que décidez vous de ne pas modéliser et comment ? Pourquoi ?</p> <p><b>Interventions extérieures (clôture les verbalisations rétrospectives).</b></p> <p>A quels moments du projet faites-vous appel à des collaborateurs ? Qui et pourquoi ? Quels sont vos points de discussion ? Sur quels supports collaborez vous ? Acceptez vous une modification de vos premières esquisses de conception ? Pourquoi ? Quelle est la fréquence de cette interaction ? Qu'est ce qui met un terme à cette collaboration et pourquoi ?</p> <p><b>Souhaits.</b></p> <p>Que pensez vous des outils de CAO actuels ? Indépendamment de toute contrainte (temps, argent, ...), une autre représentation conviendrait-elle mieux ? Laquelle ? Quelles qualités aurait-elle ? Si vous pouviez définir votre outil idéal, de quoi serait-il composé ?</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 36 - Grille générale d'entretien, commune aux cinq études.

Lorsque, dans les équipes de conception, l'intervieweur a l'occasion d'effectuer un entretien avec un ou des dessinateur(s), les questions sont quelque peu adaptées (voir figure 37). De même, lorsque la situation le permet, les binômes de designers et dessinateurs qui auraient eu l'occasion de travailler ensemble sur un projet commun et qui acceptent d'en verbaliser le déroulement, sont interrogés ensemble sur base des

traces récupérées de ce projet. Précisons à ce stade que nous ne nous intéressons pas à proprement parlé à l'activité du dessinateur, mais plutôt aux impacts que son activité peut avoir sur les processus de conception (individuels ou collaboratifs) du designer et l'usage que ce dernier fait, en conséquence, de ses objets médiateurs.

**AJOUTS Pour dessinateurs :**

Lorsque vous recevez une esquisse, qu'en faites vous ?  
 De quelles informations avez vous besoin au départ ?  
 De quels compléments d'informations pourriez vous avoir besoin en cas de manques ?  
 Qu'est ce qu'une bonne esquisse ?  
 Quels «indices» du dessin allez-vous exploiter dans votre travail et comment ?  
 Que décidez vous de ne pas modéliser et comment ? Pourquoi ? comment modélisez vous ?  
 De quels compléments d'informations avez vous besoin ?  
 Quelles sont les principales difficultés dans la gestion des données des designers ?  
 Quelles caractéristiques donnez vous à votre support de communication ? Quelles doivent être ses spécificités ?

**GRILLE D'ENTRETIEN BINÔMES :**

Caractéristiques de la collaboration.  
 A quel propos avez vous collaboré ?  
 Qu'est ce que vous vouliez faire ?  
 Quels étaient les points de discussion ?  
 Y a-t-il eu des phases de négociations ? Si oui, à quel propos ?  
 Comment le projet a-t-il évolué ensuite, sur quel support ? Quelles ont été alors vos contributions personnelles ?  
 Qu'est ce que ce support vous apporte à vous ? Qu'apporte-t-il selon vous à l'autre ?  
 Et a contrario, quelles sont les limitations de ce support, d'après vous ?  
 Caractéristiques du support.  
 Sur quel support collaborez vous ?  
 Pourquoi utilisez vous ce support ? (prescrit, volonté propre, support usuel, ...) ? A quoi vous sert-il ?  
 Qu'est ce que vous vouliez faire ?  
 Qu'est ce que ce support vous apporte à l'un et à l'autre, respectivement ?  
 Et a contrario, quelles sont les limitations de ce support, d'après vous ?  
 Influence des outils sur la redistribution des tâches entre acteurs et vice versa.

Fig. 37 - Ajouts pour dessinateurs, ajouts pour binômes.

La troisième et dernière méthode exploitée est l'observation in situ, soit instantanée (et outillée par la prise de note et de photographies), soit postérieure (rendue possible par les enregistrements audio et vidéo des séances de conception).

Les méthodologies de recueil de données sur le terrain sont nombreuses et plusieurs d'entre elles permettent au chercheur de ne plus se limiter à l'analyse de micro-processus de conception, mais plutôt d'élargir l'étude de l'activité aux contextes réels. Le lecteur intéressé en trouvera un résumé complet dans (Achten, Dorst, Stappers, & de Vries, 2005; Gero & Maher, 1997). Parmi ces méthodes, la méthode du *protocol analysis* ou des verbalisations simultanées<sup>2</sup> est largement utilisée, mais également de plus en plus critiquée : les verbalisations simultanées altéreraient non seulement l'activité du sujet, mais aussi la véracité de son discours ; extrêmement lourde à mettre en oeuvre, cette méthode est plus souvent appliquée aux expérimentations courtes et en laboratoire, qui sont peu voire pas représentatives des conditions réelles du travail (Davies, 1995, cité par (Motte & Bjärnemo, 2004) ; (Bailey, 2000)). En conséquence, nous n'avons eu recours à cette méthode que pour les deux dernières expérimentations TRAGERE et FORMA\_V : toutes deux interrogent des

2 Il est demandé aux designers de «parler tout haut», soit de dire tout ce qui leur passe par la tête pendant l'exécution de la tâche de conception. Particulièrement difficile à réaliser naturellement, cette verbalisation peut être facilitée par des relances de l'observateur.

questions précises et se construisent sur des expériences courtes, déconnectées des contextes professionnels de la tâche. Les designers ont pu effectivement dans ces situations particulières verbaliser simultanément sans trop de difficultés.

Dans le cas des deux premières études, qui révèlent elles les possibles impacts du contexte, nous avons préféré nous limiter (une fois les interviews achevées) aux verbalisations naturelles, entre opérateurs collaborant (capturées et enregistrées en temps réel pour PRO\_COLLAB ; filmées, enregistrées et rejouées ensuite pour PRO\_DUO).

La troisième étude in situ, ANOTO, présente comme nous l'avons déjà dit un caractère plus mixte : nous récupérons postérieurement les dessins du designer, qu'il a réalisé tout à fait librement dans son atelier et dans le respect de ses habitudes de travail, dessins que nous pouvons ensuite rejouer sur ordinateur. Le designer a pu dans ce cas verbaliser a posteriori sur base de ses dessins (tant sur support papier que sur support numérique) et nous a proposé par ce biais une analyse rétrospective de son propre processus. Un tel auto-examen de son processus se rapproche d'une autre technique dite «d'auto-confrontation» (dont on trouvera un résumé dans (Mollo & Falzon, 2004)), à la seule différence que nous n'avons pas soumis à l'opérateur des séquences filmées de son activité, mais plutôt des séquences enregistrées de la construction de ses traits. L'étude ANOTO, comme nous le détaillerons plus tard, s'est également construite sur un ensemble de réunions avec les clients (maîtrise d'ouvrage du projet), durant lesquelles le designer et son collègue expert ont naturellement verbalisé leurs choix, leurs questionnements. Ces méthodes plus particulières de recueil de données constituent un autre moyen d'atteindre une information parfois complexe à capturer.

En termes de choix méthodologiques, il nous faut également justifier l'appel à des sujets exclusivement professionnels, jamais étudiants. Certains auteurs s'opposent féroce­ment à l'intégration d'étudiants dans des expérimentations visant à mieux comprendre les processus de conception. Norman (2010a), dans un de ses essais, s'exclame par exemple «[...] *I am continually amazed that the research community believes that the study of naïve, unskilled students tells us anything at all about problems of design in a large company, with multiple constraints and requirements, working in teams [...]*». Nous n'optons pas pour une position si tranchée vis-à-vis des étudiants. De notre point de vue, ils restent (surtout en fin de cursus) bien formés à la conception «utopique», en effet éloignée des considérations plus terre-à-terre et des contraintes du milieu professionnel, mais toujours pourtant très riche d'un point de vue créatif et purement conceptuel. Certains auteurs, faisant dans d'autres domaines des constats similaires, examinent attentivement les pratiques des deux communautés afin de comparer leurs mécanismes cognitifs et définir ainsi les limites (inférieures ou supérieures) de la performance observée (Blavier, 2006).

Si, au long de cette recherche, les sujets observés sont dans certains cas précis classifiés comme «professionnels experts» ou «professionnels juniors», c'est tout au plus dans l'objectif de traduire une évolution des pratiques métier, des expertises dans l'usage des outils, ou pour justifier une répartition particulière des tâches. Nous ne comparerons donc que très rarement les différentes expertises et nous ne ferons jamais appel à des sujets encore en formation. Désirant réintroduire dans l'analyse de la tâche

de conception (et dans la mise au point d'un système d'assistance) les éléments du contexte, il nous semblait en effet crucial de faire appel exclusivement à des opérateurs activement intégrés dans les dynamiques réelles du métier.

Soulignons enfin l'aspect capital qu'à pris, tout au long des 5 études, la mise en oeuvre des conditions d'une confiance réciproque. D'une part, il a fallu rassurer les directions des entreprises nous accueillant quant au fait que nous n'allions en aucun cas exploiter les données recueillies dans un contexte autre que celui de notre recherche. Laisser un membre totalement extérieur de l'équipe observer les méthodes et processus de conception de produits non encore commercialisés, qui constituent le potentiel d'innovation de l'entreprise, représente pour les responsables des risques évidents dont nous étions conscients. Pour les rassurer à ce sujet, nous leur avons proposé la signature d'un accord de confidentialité, d'anonymat et de respect des données à caractère privé que l'on trouvera en annexe 2. D'autre part, une fois les conditions d'intégration à l'entreprise ratifiées, il nous a fallu acquérir la confiance des designers, employés et ouvriers de l'entreprise. Constaté que la direction accordait à un observateur extérieur de capturer l'ensemble de leurs pratiques métier et de leurs habitudes pouvait en effet leur laisser penser que notre étude ne masquait rien d'autre qu'une évaluation interne de leurs compétences. Là encore, il nous a fallu présenter précisément les objectifs de notre recherche pour les rassurer et les convaincre de la neutralité de notre étude. Notons au passage que les opérateurs ont toujours été conscients de notre objectif d'analyse des processus de conception, mais que nous sommes restés cependant plus discrets quant à la conceptualisation d'un système d'assistance, de manière à ne pas impacter leurs réactions au sujet des objets médiateurs exploités.

### 3. Etudes de terrain - l'objet médiateur au sein des contextes professionnels de la conception

#### 3.1. Etude transversale PRO\_COLLAB - la revue collaborative de projet

Cette première étude de terrain constitue le panorama le plus large de situations de conception auquel nous avons eu affaire. L'observation de cette équipe multidisciplinaire, qui rassemble à peu près tous les niveaux d'expertise et qui s'implique dans la revue de conception de divers projets à divers états d'avancement, nous offre en effet une vue globale de toutes les étapes par lesquelles un projet peut passer, du premier dessin à la mise en plan de détails.

Cette étude nous permet de mieux comprendre l'impact du contexte, l'usage des objets médiateurs ainsi que l'évolution du processus de conception préliminaire depuis l'avènement des outils de CAO et depuis l'apparition d'une nouvelle compétence, le dessinateur. Elle révèle aussi les constants allers-retours qui existent dans l'usage des

objets médiateurs, à tous les niveaux de la conception et renforce la nécessité d'une étude des complémentarités (figure 38).

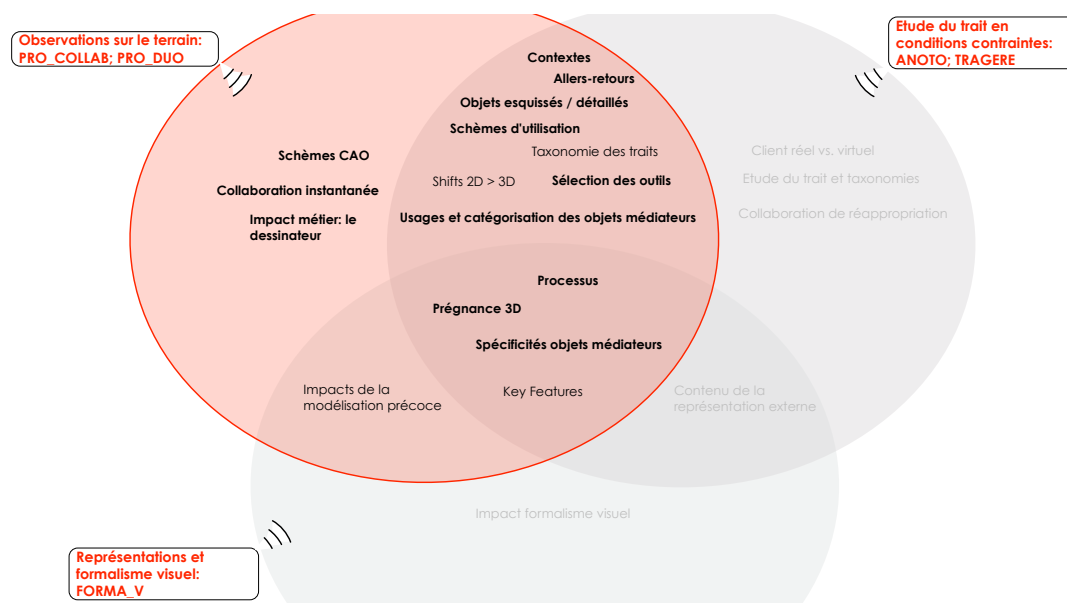


Fig. 38 - Les thématiques d'intérêt particulièrement révélées par l'étude PRO\_COLLAB.

### 3.1.1. Présentation du contexte et de l'équipe

L'entreprise en question est active dans le secteur de la conception et la vente d'une gamme complète de corps de chauffe : poêles à bois, au gaz, feux ouverts, tous les produits conçus étant de l'initiative de l'entreprise elle-même. Elle s'organise en deux départements principaux : un premier département de production et un second département de Recherche et Développement, Mises aux normes et Tests en laboratoire, regroupant à l'heure actuelle une vingtaine de personnes. Le responsable de ce département, François, nous donne carte blanche pour toute étude centrée sur la R&D : nous effectuons librement observations sur le terrain, interviews et analyses rétrospectives et assistons aux réunions de conception pendant près de deux mois.

Le département R&D emploie 5 designers et 3 dessinateurs/ingénieurs (figure 39), ces derniers étant sélectionnés bien entendu pour leurs compétences en infographie et modélisation 3D mais aussi pour leurs connaissances techniques et industrielles. Le dessinateur est ainsi sensé modéliser le projet (une fois celui-ci «conçu») et le mettre en plan de détails pour un envoi à la production et les quelques connaissances techniques qu'il possède lui permettent en outre de mieux appréhender les traces graphiques que lui transmettent les designers.

Le designer dans cette entreprise intègre pratiquement toutes les étapes du processus de conception. Il intervient au niveau de la définition des concepts, de la mise au point des prototypes ou encore de la gestion du projet, ainsi qu'à l'industrialisation, la mise en production et même parfois le service «après vente» (il devient momentanément formateur pour les monteurs et architectes).

Designer	Rôle	Ancienneté (poste)	Formation
François	Designer senior, responsable du département et fondateur de l'entreprise. Il prend les principales décisions durant le processus de conception, mais aussi d'industrialisation et de mise en production. Il est directement en lien avec les commerciaux et rédige la plupart du temps les cahiers des charges en fonction des études de marché que lui fournissent ces derniers.	Fondateur de l'entreprise, 30 ans de profession.	Design industriel à St Luc Liège.
Marc	Engagé comme «manager de projet», jusqu'à présent gestionnaire de projet, mais à qui il reviendra bientôt la charge de responsable « Cahiers de Charges, Techniques, Normes et Qualité ». Ses connaissances techniques et pragmatiques font de lui l'acteur privilégié d'échange avec les commerciaux lorsqu'il s'agit de négocier avec eux les caractéristiques des produits et leur faisabilité.	3 ans.	Ingénieur civil en thermodynamique.
Pierre	Il est en charge principalement des produits Projet 1 ; Projet 2 et Projet 3, ces deux derniers étant encore en stade de conception	10 ans. Designer le plus expérimenté de l'équipe en dehors de François.	Design industriel à St Luc Liège.
Céline	S'occupe (entre autres) du Projet 4, en phase d'optimisation suite aux retours du marché.	2 ans.	Design industriel à St Luc Liège.
Arnaud	Conception du Projet 5, bientôt mis en production	5 ans.	Design industriel à St Luc Liège.
Dessinateur	Rôle	Ancienneté (poste)	Formation
René	A travaillé avec Pierre sur le Projet 1 et le Projet 3, s'apprête à travailler avec Céline sur le Projet 4	4 ans. Dessinateur le plus expérimenté	Formation de programmeur, formation de dessin technique.
Luc	Modélise le Projet 2 avec Pierre	< 1 an.	Ingénieur
Stéphane	Travaille avec Arnaud sur le Projet 5	< 1 an.	Ingénieur

Fig. 39 - Population de l'entreprise - étude PRO\_COLLAB.

La plupart des designers sont issus du même institut de design industriel mais n'ont cependant pas bénéficié de la même formation. L'équipe travaille à l'aide de trois outils médiateurs principaux, à savoir le logiciel de modélisation 2D et 3D Pro-Engineer® (ou Pro-E), le dessin papier/crayon («dessin») et les prototypes qui leur sont fournis par le prototypiste en cours de projet. Les opérateurs présentent des niveaux d'expertise différents (en terme d'ancienneté dans l'entreprise, mais aussi en termes d'expertise dans le domaine du design industriel et d'expertise dans l'usage des outils numériques). Comme nous le verrons, les designers s'approprient de plus en plus les phases préliminaires de modélisation, qui nourrissent leur processus de conception et font donc pratiquement tous usage du logiciel Pro-E. Notons au passage que François n'exploite jamais les outils de CAO 3D, que Pierre lui a dû se former «sur le

tas» à l'utilisation du logiciel Pro-E, contrairement aux autres designers qui ont reçu une formation à cet outil.

### 3.1.2. L'objet de la conception

Parmi les produits en cours de conception et production au moment de notre étude, nous en retenons cinq, qui couvrent une large gamme d'états d'avancement. Ces cinq produits concentrent la grande majorité de l'effort de travail de l'équipe. Au sein des cinq processus, trois problématiques plus précises de conception sont épinglées, qui nourrissent les observations de 13 «moments» de conception qui seront traités par la suite de manière plus quantitative.

Trois des produits sélectionnés appartiennent à la famille «poêle à bois» : le foyer «Projet 1», décliné en une version compacte, pour espaces plus restreints, le «Projet 2» et en une version suspendue, le «Projet 3». Les poêles Projet 1 disposent d'un foyer qui peut pivoter sur une base appelée tambour et peuvent être utilisés en 3 modes : mode feu ouvert, mode feu ouvert avec vitre (type «insert») et mode poêle à bois fermé. Nous retenons également le «Projet 4» et plus particulièrement sa gamme de supports qui l'intègrent à l'espace architectural. Dans les foyers plus classiques du type «feu ouvert», l'équipe travaille actuellement le «Projet 5», insert nouvelle génération, à intégrer à un volume architectural. D'une manière globale, les cahiers des charges soulignent que le produit doit :

- être convivial et offrir une large vue sur le feu ;
- garantir le leadership de l'entreprise (les produits ayant formellement un style très épuré et moderne, loin des codes de robustesse et de rusticité des foyers traditionnels) ;
- optimiser les «techniques du feu» (hygiène de combustion, performances énergétiques, rendement, respect des normes, ...) ;
- tirer parti d'autres technologies.

La spécificité de ces produits réside dans leur complexité technologique, non identifiable à première vue (figure 40). Ainsi, des contraintes en terme d'étanchéité, de résistance à la température, de flux d'air, etc., doivent être considérées, sans compter des variabilités nationales en terme de normes et de prix de revient. Le produit dans sa globalité, s'il peut paraître composé de simples tôles pliées, courbées et soudées, recèle une multitude de petites pièces connectées en des assemblages complexes qui assurent au produit final un fonctionnement optimal.



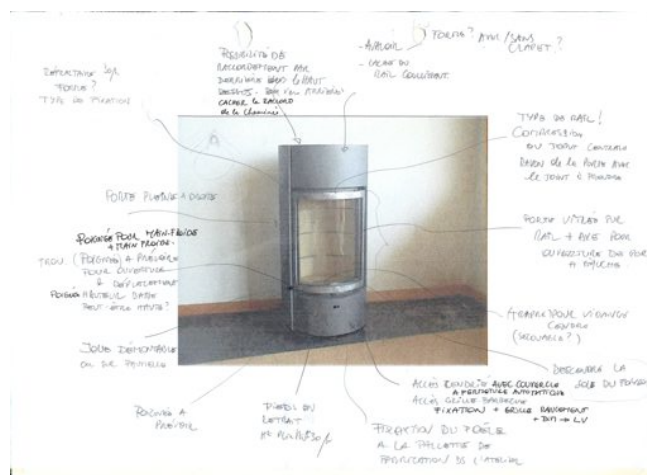


Fig. 40 - Photographie d'un prototype qui semble formellement et technologiquement simple. Les annotations, pourtant, révèlent déjà une complexité sous-jacente.

### 3.1.3. Méthodologie et recueil des données

Nous avons pu intégrer l'équipe de conception durant plusieurs journées complètes, au sein même de leur bureau «open-space». Les entretiens et leurs analyses rétrospectives, les observations *in situ* filmées et enregistrées, l'assistance à de nombreuses réunions de travail et la récupération systématique des traces externes générées durant les processus ont rythmé notre étude, qui s'est étendue sur presque deux mois.

Les entretiens semi-dirigés se sont organisés en deux temps : entretiens individuels et entretiens en binômes (pour les grilles d'entretien, se référer à la section 2 de ce chapitre). Designers et dessinateurs ont donc été interrogés d'abord séparément<sup>3</sup>, ils ont pu ainsi chacun nous développer l'historique de conception des produits auxquels ils participent ou ont participé (voir figure 39 ci dessus et l'annexe 6 pour le détail de ces analyses rétrospectives). Certains binômes de travail se sont ensuite prêtés au jeu des entretiens collectifs, ces échanges s'organisant de manière plus opportuniste, au fil des conversations et des interactions spontanées. Tous les entretiens ont été enregistrés sous format audio et leur durée varie d'une demi heure à plus d'une heure trente (toujours avec l'accord préalable des sujets).

Notre position à un bureau vacant au sein de l'open-space nous a permis de capter, de la façon la moins intrusive possible, de nombreuses sessions de conception présentant toutes leurs modalités propres. Ces sessions ont été enregistrées de façon audio et vidéo lorsque cela s'avérait nécessaire. Parmi toutes les séquences capturées, nous avons conservé et traité 13 «moments de conception» (figure 41). Douze de ces moments peuvent d'après nous être classés dans la «revue collaborative instantanée de projet» (ou «revue de conception»), réunions spontanées, jamais programmées, qui

<sup>3</sup> Notons cependant que les analyses rétrospectives faisant fréquemment appel aux visualisations 3D dynamiques, les entretiens «individuels» ont dû être menés tout à côté des ordinateurs fixes de chaque poste, soit toujours au sein de l'open-space et donc à portée de voix des autres opérateurs. Les sujets ont donc peut-être été influencés par les réponses données plus tôt par leurs collègues, ou n'ont peut-être pas ressenti une totale liberté dans l'expression de leurs idées.

surviennent lorsque au moins 2 designers dressent l'état d'avancement d'un projet, soulèvent des problèmes encore à résoudre, sélectionnent une première «esquisse» de solution et se répartissent ensuite les tâches pour un phase ultérieure de conception distribuée. Une fois ces micro-réunions achevées, les sessions individuelles de conception, lorsqu'elles ont eu lieu, ont également été suivies et filmées, de manière à capter l'impact direct de la réunion à peine achevée sur le processus individuel de conception. C'est dans ce contexte que nous avons enregistré, avec l'accord du designer, le treizième moment de conception grâce à un système de capture d'écran dynamique. Ces quelques heures de conception/modélisation individuelle (et précoce) d'une pièce 3D sont d'une réelle importance pour notre compréhension de l'usage de l'outil numérique.

Observation n°	Participants	Objet de la réunion	Phase de la conception	Support de la collaboration	Durée totale d'obs.	Mode de Capture
1	Deux designers senior	Définition du mécanisme de régulation du registre d'air	Etude produit et process	papier (coupes imprimées) et proto	3 jours	audio et vidéo
2	Deux designers senior et un prototypiste	Mécanisme de régulation du registre d'air et épaisseur de la paroi du tambour	Etude produit et process	sur papier (coupes imprimées) et proto	3 jours	audio et vidéo
3	Un designer senior et un dessinateur junior	Agrandissement de la porte du Projet 2	Etude produit et process	ordi et proto	2 jours	audio et vidéo
4	Designer et dessinateur expert	Explication d'un détail du Projet 4	Proto définitif	ordi	1 heure	audio
5	Designer senior et dessinateur expert	Explication d'une méthode de modélisation	Proto définitif	ordi	1 heure	audio
6	Deux designers senior	Discussion registre d'air (dimension d'un trou)	Proto définitif	ordi et croquis sur feuille blanche, doc. technique	1 jour	audio et vidéo
7	Deux designers senior	Porte du Projet 2	Pré-étude produit et pré-validation des fonctions	croquis	2 jours	audio et vidéo
8	Un designer senior et un prototypiste	Cintrage du cylindre du tambour depuis changement épaisseur	Proto définitif	verbal	1 heure	audio

9	Designer senior à tous	général	Etude produit et process	verbal	1 heure	prises de note
10	Designer senior et dessinateur junior	Fenetre Projet 2	Etude produit et process	ordi et papier	1 jour	audio et vidéo
11	Designer senior et dessinateur junior	PED du Projet 2 et méthode de travail	Proto définitif	verbal, check list et ordi	1 heure	audio et vidéo
12	Tous	revue de conception du Projet 4	Lancement et validation des pré-séries	verbal, proto	1 heure	prise de note et audio
13	Designer senior (conception individuelle)	Modélisation du registre d'air et du tambour (Projet 2)	Etude produit et process	ordi	1 heure	capture d'écran dynamique

Fig. 41 - Résumé des 13 moments de conception capturés et leurs caractéristiques.

La plupart de ces treize moments de conception traitent trois problématiques principales : le problème du registre d'air, la définition de la version haute du «Projet 2» ainsi que la modification de l'épaisseur du tambour<sup>4</sup> du «Projet 1» et ses conséquences techniques. Le registre d'air peut très simplement se présenter comme une valve de régulation de passage de l'air frais dans la chambre de combustion, ce réglage se faisant manuellement (figure 42). On retrouve cette valve sur tous les poêles à bois, elle est classiquement montée dans le tube d'extraction d'air mais se situe donc ici en partie basse du poêle. La problématique posée est la redéfinition du mécanisme d'ouverture/fermeture de la valve.

<sup>4</sup> Tambour : partie arrondie basse du foyer récupérant les cendres et qui constitue également la base pivotante du foyer.

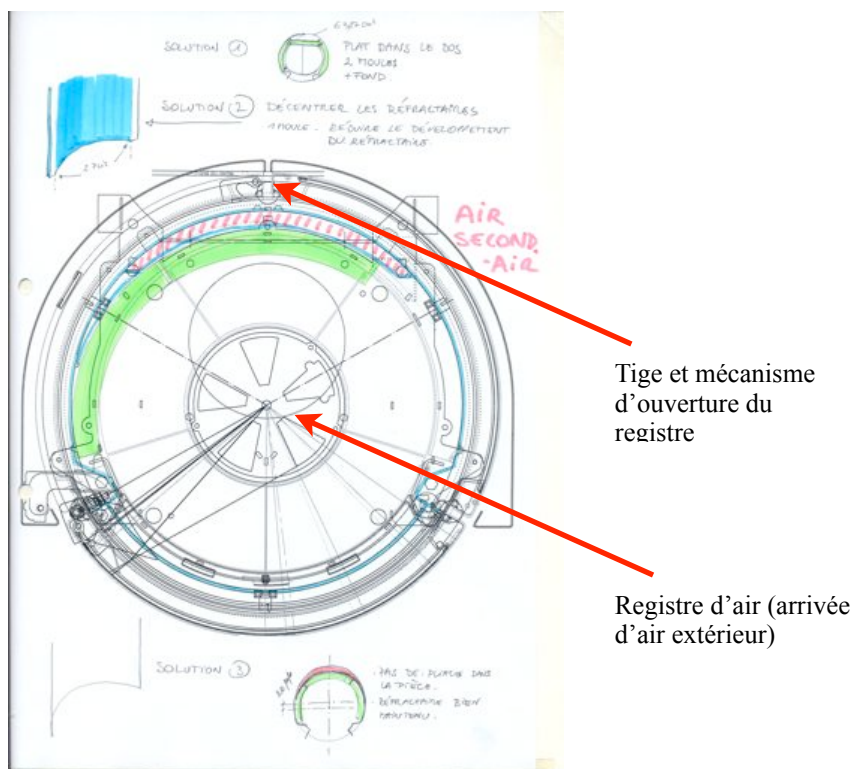


Fig. 42 - Vue en coupe annotée du registre d'air.

Dans la version haute du «Projet 2», nous nous intéresserons à la définition de la nouvelle porte et de sa vitre. Le foyer voyant ses dimensions verticales s'élançer, François désire en effet agrandir la vitre et donc la vue sur le feu lorsque le foyer est en position « feu ouvert avec vitre », ce qui a des conséquences sur la conception de la porte dans son entièreté (figure 43). Enfin, François désire rentabiliser au maximum les Projets 1 et 3 et veut diminuer le prix de revient. Pour cela, il demande à Pierre de redéfinir l'épaisseur de tôle cintrée utilisée comme capot cylindrique extérieur des foyers et des tambours et de revoir en conséquence le mode de cintrage, de soudure et de connectique des plaques.



Fig. 43 - Premiers croquis de François, traités par Luc, pour la modification de la fenêtre et de la porte du «Projet 2».

Les moments et problématiques sélectionnés proposent un large éventail de modalités collaboratives : on passe de la prise d'information au partage de point de vue, de l'explication à un dessinateur junior à une co-conception menant à d'importantes modifications. Le suivi d'un processus de conception dans sa globalité étant impossible dans l'intervalle de temps dont nous disposons (chaque projet étant développé en 2 à 3 ans en moyenne), cette méthode d'observation a le mérite de rassembler des informations suffisamment bien réparties sur l'échelle temporelle de développement formel, technique et productif de conception.

### 3.1.4. Spécificités, variants / invariants

PRO\_COLLAB est la seule étude dont les entretiens ont été traités suivant un principe de codage qualitatif particulier : nous avons en effet pu associer à leur analyse des données observées directement sur le terrain, étant donné le caractère relativement «contemporain» des historiques dont nous faisions part les concepteurs. Les analyses rétrospectives portant directement sur des processus de conception propres à l'ensemble de l'équipe R&D (et présentant en conséquence un caractère moins «personnel» que pour toutes les autres analyses rétrospectives enregistrées), il nous a semblé intéressant d'en proposer une vue globale, reconstruite sur base d'un croisement plus détaillé des données. Nous présentons ici ce traitement étant donné son caractère propre à l'étude et étant donnée son importance pour la présentation factuelle à suivre des principaux résultats.

Ce codage, très simple (le lecteur intéressé peut se référer à (Elsen, 2009) pour plus de détails), nous a permis de reconstruire pour chacun des 5 produits sélectionnés une ligne du temps qui résume l'ensemble du processus de conception jusqu'à son état d'avancement ultime de l'époque (voir un spécimen, figure 44).

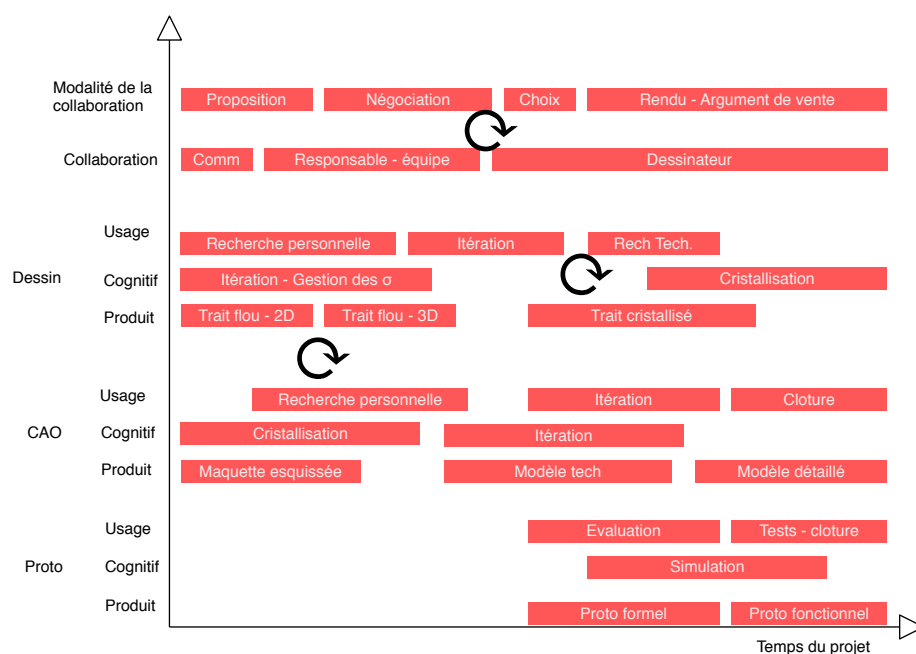


Fig. 44 - Spécimen d'une ligne du temps d'un processus bêta de conception.

Cette ligne du temps est constituée, en abscisse, du déroulé chronologique du projet. L'échelle temporelle varie évidemment énormément : si la plupart des informations sont issues des entretiens et relatent les principales étapes de processus longs de plusieurs mois, celles-ci peuvent être complétées d'informations plus locales, capturées durant les observations instantanées. Sur l'ordonnée sont positionnées les différentes variables observées : l'exploitation des trois principaux objets médiateurs (déclinée selon leur usage opératif, cognitif et selon le produit qui en résulte) ; le collaborateur et la modalité de la collaboration. Au coeur de la ligne du temps, au droit de leur variable, on trouve les différentes valeurs codées. Ces valeurs structurent l'étude verticale des occurrences (le spécimen proposé ne présente pas les variables et valeurs de manière exhaustive). Les itérations, forcément présentes tout au long de ces processus opportunistes, sont représentées par des boucles.

Cette méthodologie globale est appliquée à chaque entretien, à chaque observation qui pourrait nourrir la reconstruction de l'historique global d'un des projets. Toutes les sessions n'apportent pas de réponses systématiques à toutes les modalités présentées, ce qui va conduire à des lignes du temps plus ou moins complètes selon les cas. Elles permettent néanmoins d'observer, sur un axe vertical, les occurrences d'utilisation des outils médiateurs en fonction du contexte du projet.

Les cinq lignes du temps ainsi construites (que l'on trouvera en annexe 6) peuvent ensuite être comparées. La figure 45 simplifie cette lecture comparative en ne figurant que les cycles d'usage des principaux outils.

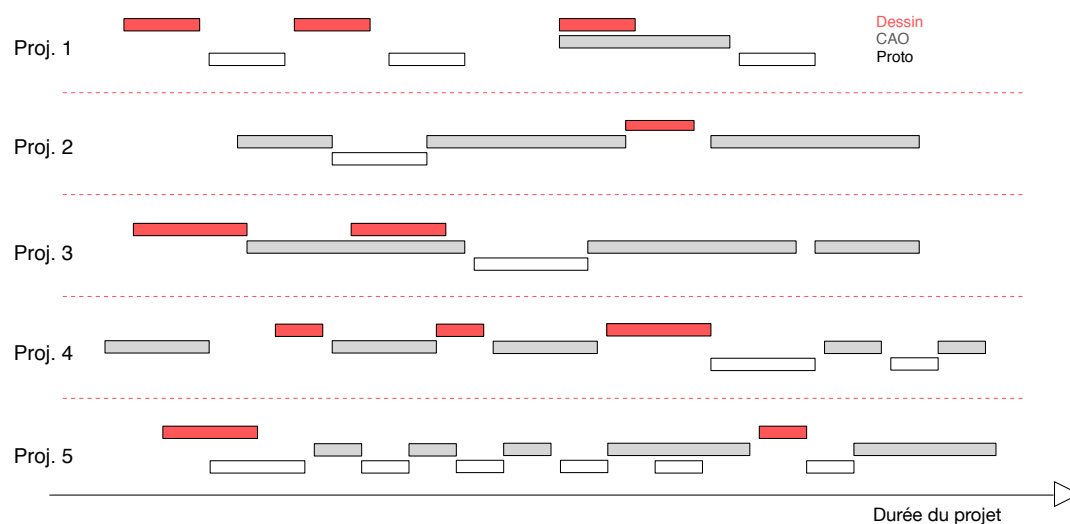


Fig. 45 - Comparaison des lignes du temps.

Une première base de comparaison peut être construite entre les produits «Projet 1» ; «Projet 2» et «Projet 3», issus de la même gamme. Le process du «Projet 1», modèle de base et premier de la gamme, présente une ligne du temps que l'on pourrait qualifier de «structurée». Deux boucles «dessin - production d'un prototype» apparaissent et on suppose (même si l'information manque à ce niveau) qu'un passage obligé par la CAO - Autocad 2D® à l'époque - s'est fait pour la mise en plan de

prototypage (découpe laser). On observe que les phases de dessin rythment l'ensemble du processus, que la CAO apparaît plus tard et que les protos sont des outils d'évaluation fréquemment utilisés (sans doute parce que la CAO à l'époque ne propose pas de visualisation 3D efficace). La collaboration est marquée par les cycles de co-conception entre François et le Chef de Produit, Pierre dans le cas présent, qui, malgré son statut de designer, assure toutes les modélisations 3D. Le «Projet 3» est marqué par une arrivée beaucoup plus anticipée de la CAO, qui structure le projet non pas en une collaboration efficace, mais plutôt en une co-activité qui mène à un premier prototype criblé d'erreurs, véritable «catastrophe» selon les dires des designers. Les corrections sont longues et coûteuses, même pour un projet qui n'est rien d'autre qu'une re-conception, variation d'un principe déjà connu. Le «Projet 2» quant à lui est entaché par la nécessité d'une re-modélisation complète du produit, suite à la méthode de modélisation non adaptée choisie plus tôt par un sous-traitant. Un rythme de co-conception apparaît à ce stade entre designer (Pierre) et dessinateur (Luc), modalité collaborative à laquelle nous assistons lors de notre étude (phase de modification de la porte et de la vitre). Ce projet particulier et les collaborations qu'il provoque nous fournissent des résultats certes ponctuels mais saisissants en termes de schèmes d'utilisation des objets médiateurs et de déviations de leurs usages.

Le processus du «Projet 5» est caractérisé par une recherche de concepts (sur dessin) très courte et isolée tout au début du processus. Des allers/retours apparaissent ensuite entre modèle 3D et prototype, testé au feu (ce test étant une nécessité pour les produits innovants). Ce passage «rapide» sur la conception préliminaire explique peut-être pourquoi un retour en arrière coûteux a eu lieu plus tard (abandon puis validation de l'utilisation d'un matériau innovant, un des principes fondateurs du projet). Le processus initie également une nouvelle modalité de collaboration, la «co-habitation» d'un designer et un dessinateur sur une interface de partage de modèles Pro-E, qui nécessite de forts pré-requis en terme de répartition de compétences et de construction d'un référentiel commun.

Le process du Projet 4, enfin, est représenté par une ligne du temps très structurée et complète puisque tout le processus a été capturé au cours des seuls entretiens. Ce projet, relativement simple techniquement, se caractérise par de constants allers/retours entre le dessin (conceptuel, technique) et le modèle 3D (esquissé, technique, détaillé) qui co-construisent efficacement le produit. Notons la seule occurrence du proto en fin de processus (ce qui peut s'expliquer par le caractère simple du produit) et l'apparition de la CAO (Autocad 2D®) au tout début de la conception.

Ces observations préliminaires mettent en lumière plusieurs constats, dont nous approfondirons l'étude dans le chapitre 4. Les lignes du temps révèlent tout d'abord que la dichotomie entre les deux principaux outils médiateurs, discutée dans la section 6 du chapitre 2, n'a effectivement plus lieu d'être. Il semblerait qu'il n'existe pas de distinction claire entre conception préliminaire et phase de mise en détail et que cette distinction ne peut surtout plus être associée à une quelconque temporalité d'usage des outils médiateurs. Les deux principaux outils sont utilisés tant en début de processus qu'en fin, les allers-retours dans leur utilisation étant constants, ce qui renforce la nécessité d'une étude de leurs complémentarités et non plus de leurs dissemblances.

La dichotomie «designer qui dessine vs. dessinateur qui modélise» est elle aussi obsolète comme le montre le graphe de l'activité du designer type de cette entreprise, construit sur base des méthodologies d'analyse de l'ergonomie cognitive (figure 46). Ce graphe se construit en trois couches interconnectées. La première couche en commençant par le bas (en rouge vif) liste l'ensemble des tâches réalisées par le concepteur. Ces tâches sont représentées linéairement, mais de nombreuses boucles rappellent que le processus est avant tout itératif.

La couche intermédiaire figure tous les outils dont le designer fait usage pour réaliser ces tâches : nous observons qu'il s'empare à plusieurs reprises de l'outil numérique de modélisation pour tester une idée qu'il peut avoir dessinée en premier lieu (mais pas obligatoirement). Ces modèles, que nous nommerons «esquissés» ou «grossiers», sont rapidement exécutés et ne présentent pas toujours des dimensions réalistes. Cette étude nous permet de capturer quelques uns des principes qui motivent leur génération à ce stade du projet : nécessité de visualisation dynamique, bien entendu, mais aussi de gestion des conflits, d'intégration «mnémorique» dans un environnement pré-existant ou de test des proportions. Les outils de CAO sont donc utilisés de plus en plus tôt dans le processus et soutiennent la génération, l'évaluation, la comparaison d'une ou plusieurs variantes : ils participent à la construction du projet en conception préliminaire et ne sont donc plus attirés au seul dessinateur. Plus tard dans le processus apparaissent les prototypes et les modèles CAO détaillés (plus classiques dans leur définition), qui permettent au designer de faire évoluer le projet vers une mise en production.

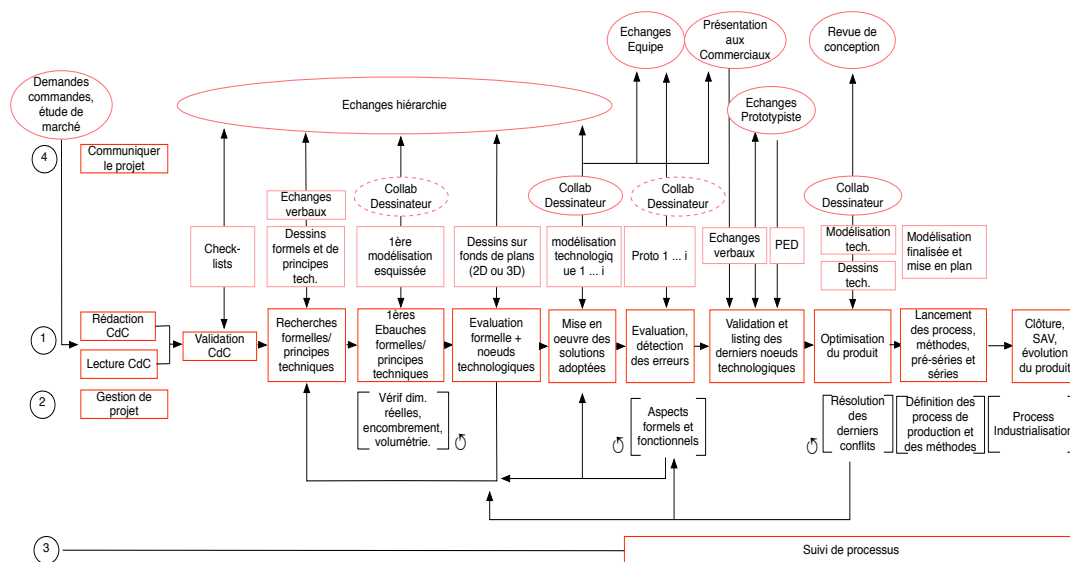


Fig. 46 - Graphe d'activité du designer type de l'entreprise Pro\_collab.

La troisième couche, enfin, souligne l'intensité avec laquelle le designer collabore tout au long du processus de conception. Le dessinateur tient une place particulière dans cette couche supérieure : ce nouvel intervenant dans le processus de conception a de multiples impacts sur le processus de conception du designer et l'usage que ce



dernier fait de ses objets médiateurs. De nouvelles modalités de travail collaboratif s'instaurent, ainsi que de nouvelles répartitions des tâches qui soulagent généralement les designers.

Le dessinateur, si l'on s'en tient à ses tâches prescrites, n'est sensé intégrer le projet que très tardivement, durant la phase de mise en détail, lorsqu'un modèle 3D détaillé est nécessaire et nourrit la génération de plans de production. En réalité et nous soulignons ici l'intérêt d'une observation *in situ* des pratiques réelles, il va être intégré beaucoup plus rapidement au sein du processus, à la demande du designer. Le graphe d'activité ci-dessous facilite la compréhension de cette étroite relation qui existe entre l'activité de conception/modélisation du designer et l'activité de modélisation/détection des erreurs du dessinateur (figure 47).

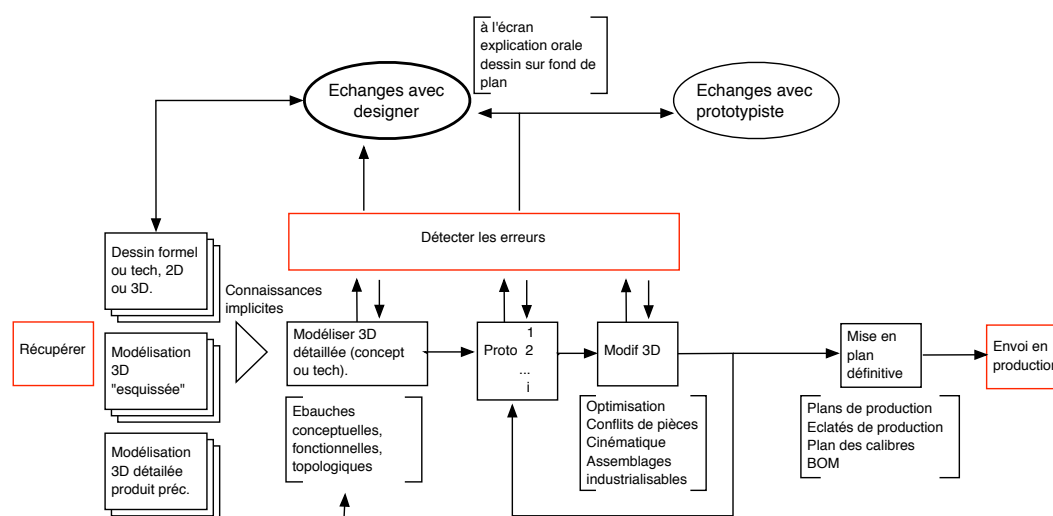


Fig. 47 - Graphe d'activité du dessinateur et imbrication des tâches de conception / modélisation / détection des erreurs.

Le designer va transmettre au dessinateur une première version du projet en cours de conception. Ce document transmis peut bien entendu être un dessin, mais aussi un modèle 3D ou 2D esquissé. Le dessinateur le récupère, le perçoit (et donc, l'interprète) et va entamer la mise en modèle 3D de détail, indispensable à la suite du projet (évaluation de la faisabilité et de la productibilité via un prototype ; mise en plan de détail pour le lancement et la validation des pré-séries etc.). Il arrive fréquemment au dessinateur, tout en modélisant, de détecter des erreurs (il réalise par exemple qu'une main humaine n'arrivera pas à boulonner dans un espace si étroit). Ce rôle d'assistant concepteur est déjà observé par (Lebahar, 2007) : cet auteur dit à ce propos «[...] son rôle ne se limite pas à celui d'un censeur : il aide le designer en lui fournissant des solutions techniques qui lui permettent d'imposer ses hypothèses» (p. 226).

Cette détection des erreurs, nous le supposons, est le résultat de longues années d'expérience de modélisation au sein de ce secteur précis. Suite à la détection, le dessinateur peut même parfois effectuer la récupération de l'erreur : il s'empare alors d'un papier et d'un crayon (!) et croque rapidement une solution, qu'il soumet toujours à l'approbation du designer. Nous supposons également qu'il peut procéder à de telles récupérations d'erreurs parce qu'elles sont devenues, à force, des opérations

routinières ; il procède à quelques analogies et récupère des données antérieures au sein d'un référentiel de cas qu'il s'est construit peu à peu. S'il ne va jamais assumer une tâche de «pure» conception (via la mise au point d'une solution satisfaisante, nouvelle et adaptée, en réponse à une problème donné), il s'inscrit cependant et par moments intensément, dans le processus de conception préliminaire.

Ces principes de capture, de perception et d'interprétation de «l'esquisse» qu'il reçoit nous interpellent, tout autant que la manière dont il perçoit et récupère les erreurs. Si on laisse de côté un instant les connaissances que le dessinateur a accumulées au fil des années, qui sont tout aussi difficilement transférables à un ordinateur que les connaissances équivalentes d'un designer, on peut tout de même se demander si d'autres indices, plus tangibles, ne participent pas au processus de «réappropriation» du projet. Quelques entretiens à posteriori avec les dessinateurs nous révèlent quelques-uns de ces indices (que nous développerons dans le chapitre quatre). Les principes de cette réappropriation ainsi que l'étude de ces key-features seront outillés par l'étude suivante, PRO\_DUO et approfondis ensuite dans TRAGERE. PRO\_DUO, avec sa fenêtre temporelle plus limitée, va également nous offrir des données plus précises relatives aux tout débuts d'un processus de conception.

### 3.2. Etude longitudinale PRO\_DUO - Le binôme designer-dessinateur et la métaphore du client absent : l'objet médiateur dans le contexte du concours

PRO\_COLLAB, avec ses revues collaboratives, dresse un panorama extrêmement riche de la conception et ses spécificités et suggère d'approfondir l'étude de deux critères d'importance pour le déroulement du processus : l'implication d'un nouveau collaborateur, le dessinateur et l'impact de l'usage très précoce que font les sujets des outils CAO. C'est l'objet de l'étude PRO\_DUO.

L'étude PRO\_DUO, longitudinale cette fois, met en jeu deux designers, tout deux tant concepteurs que modélisateurs<sup>5</sup>, qui collaborent étroitement tout au long d'un processus de conception préliminaire en utilisant justement tant le dessin à main levée que SolidWorks® pour la modélisation 3D du produit de leur conception : ils échangent sans cesse leurs points de vue, échangent leurs dessins et y perçoivent immédiatement l'essence exploitable.

Cette étude, tout en nous offrant une vision beaucoup plus détaillée et précise des tout débuts d'une conception (figure 48), affine donc nos premiers constats en termes :

---

<sup>5</sup> Nous utilisons le néologisme «modélisateur» pour désigner ce dessinateur industriel qui, grâce à son expertise en techniques de production et conception industrielle, prend tout autant part au processus de conception que son collègue designer. Ce terme sera également appliqué aux designers qui, pour diverses raisons, prennent en main eux mêmes la modélisation du produit.

- d'interactions entre rôles de conception et de modélisation ;
- d'essence ou de key feature du dessin, qui structure la compréhension qu'à l'autre du projet en cours. En particulier, PRO\_DUO approfondit notre compréhension des mécanismes de transfert entre sujet «concepteur» et sujet «modélisateur» ;
- de niveaux d'abstraction des représentations externes générées (niveau «esquissé», «technique» ou «détaillé» du dessin et du modèle 3D) ;
- de prégnance de la troisième dimension ;
- de compréhension des mécanismes de transition entre représentations bi- et tri-dimensionnelles d'un objet (représentations qui se révèlent toujours être ne fut-ce que légèrement impactées par cette transition).

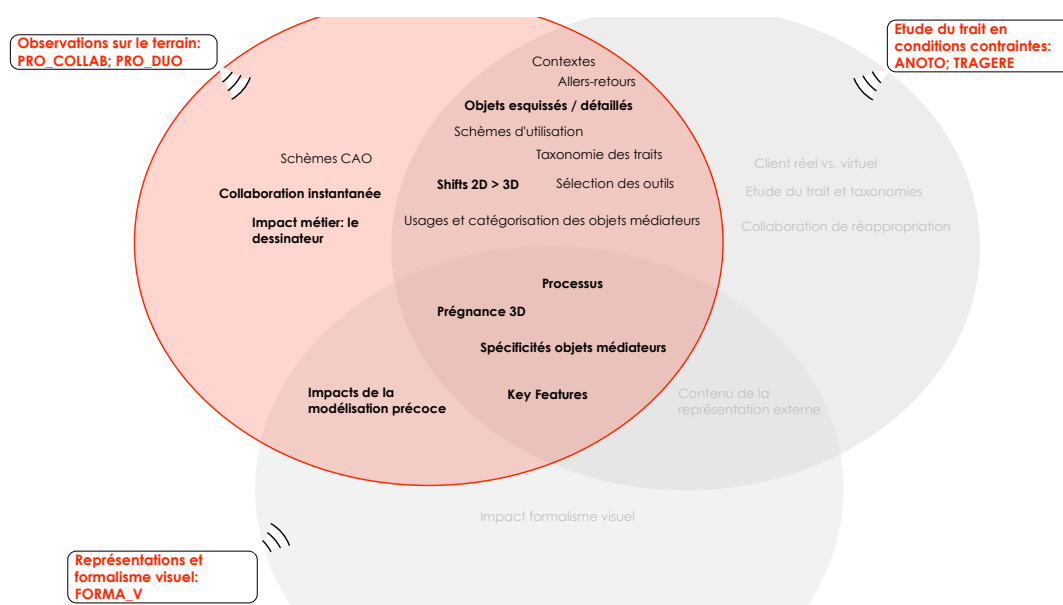


Fig. 48 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'étude PRO\_DUO.

### 3.2.1. Présentation du contexte et de l'équipe

L'équipe nous accueillant ne se compose cette fois que de deux sujets (figure 49) : Bruno, fondateur de l'entreprise et Pascal, designer lui aussi, ayant rejoint Bruno depuis 2 ans et demi à l'époque. Si Bruno maîtrise généralement le schéma directeur d'un projet, il travaille cependant toujours en étroite collaboration avec Pascal, qui s'investit dans toutes les phases du processus de conception<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Nous notons également la participation, pendant quelques jours, d'un étudiant-stagiaire.

Designer	Rôle	Ancienneté (poste)	Formation
Bruno	Designer Senior, a fondé l'entreprise en 1991 et travaille sur divers projets en fonction des commandes qui lui sont faites. Répond également à de nombreux appels d'offre et concours ; peu de projets sur initiative personnelle.	Fondateur, 20 ans dans cette entreprise.	St Luc Liège
Pascal	Designer, chef de projet	Professionnel, employé depuis 2 ans et demi	St Luc Liège

Fig. 49 - L'équipe de PRO\_DUO.

Les sujets ont bénéficié de formations d'intensités différentes aux outils numériques, mais les exploitent tout deux avec aisance. Depuis toujours habitués au logiciel Pro-E, ils tentent aujourd'hui de modéliser de plus en plus avec Solidworks®, pour lequel ils ne disposent cependant que d'une seule licence. Les projets d'importance, nécessitant que les deux sujets travaillent conjointement à la modélisation d'un seul objet, ne peuvent en conséquence se faire qu'avec Pro-E. Dans le cas du projet que nous avons suivi, de taille plus modeste et s'organisant en deux parties distinctes, il semblerait que Bruno ait utilisé Pro-E et Pascal SolidWorks®.

### 3.2.2. Objet de la conception

Une des spécificités du produit de cette conception est qu'il est le résultat d'un appel d'offre pour un marché public de fournitures. La maîtrise d'ouvrage, un organisme public de loterie, porte à la connaissance de toute entreprise ou tout entrepreneur de la conception son ambition de remplacer le mobilier de l'entièreté de son parc de vente. Il s'agit d'une part de concevoir un meuble comptoir modulaire, destiné à présenter la marque et ses produits, constituant également l'interface vendeur-client lors de la vérification et réception des gains ; et d'autre part un « coin jeu » pour présenter les jeux online et proposer au client un espace dédié au remplissage et dépouillement de ses bulletins.

Nos deux designers sont donc dans un contexte particulier de conception : ils ont pour ambition de remporter un concours face à un nombre inconnu de concurrents et ne disposent pour ce faire que de quelques semaines et 2000 € de budget pour la mise au point d'un premier prototype.

Soulignons immédiatement les particularités de ce contexte qui impactent indubitablement le processus de conception :

- les designers n'entretiennent aucune relation privilégiée avec le client. Ils ont reçu, tout comme les autres participants, un cahier des charges pour le moins vague, laissant de nombreux points de détail ouverts à interprétation. S'ils ont pu participer à une unique réunion de questions/réponses concernant ce cahier des charges, ils regrettent cependant l'absence imposée de coordination avec ce client «virtuel» ;

- les designers n'ont pas non plus la possibilité de défendre oralement leur projet, de justifier leurs choix. Ils doivent avoir déposé à date fixe un ensemble de planches cartonnées, présentant «des vues 3D et dessins 3D» du projet. Cette consigne ne fait pour eux aucun doute : ce sont des représentations de modèles 3D qui sont attendues ;
- les concepteurs ne disposent que de 2000 euros de budget pour un prototype qu'ils pourront éventuellement défendre si leurs planches passent la première étape de sélection. Cette limite budgétaire et leur volonté bien compréhensible de ne pas vouloir investir plus que nécessaire dans ce projet risqué, orientent immédiatement leurs choix techniques : le projet sera le plus simple et le moins cher possible, le plus facilement réalisable par leur sous-traitant favori, qui ne traite que la tôle pliée.

Les concepteurs relèvent, indépendamment du cahier des charges, un ensemble de contraintes qui complexifient encore le projet. Les pièces de mobilier doivent

- s'adapter à tout types d'espaces de vente, généralement exigus et surchargé de marchandises, avec peu de visibilité (librairies ; entrée des supermarchés ; postes ; pompes à essence ; ...) - ils soulignent l'absence «d'espace neutre» pour l'intégration du futur produit ;
- garantir une cohérence et une uniformité dans l'image de la marque, ce qui n'est pas simplifié par la multiplicité de formats et de formalismes des billets et tickets à gratter ;
- le coin jeu, enfin, doit être contenu dans un carré de 51 cm de côté au sol et doit présenter un déplié de 90 cm (pour la pose de 3 affiches publicitaires A3 verticales côte à côte).

Le produit à concevoir est en finalité relativement simple : il comporte peu d'éléments techniques (les écrans et terminaux principaux étant fournis tels quels par la maîtrise d'ouvrage) et présente, d'après les desiderata des designers eux-même, un formalisme forcément simplifié par les contraintes temporelles et financières du projet. Ces contraintes et l'absence d'interlocuteur, complexifient par contre le processus.

### 3.2.3. Méthodologie et recueil des données

L'ensemble du projet (de la réception du cahier des charges au rendu des planches) a duré 1 mois et demi. Notre observation in situ s'est organisée en 8 journées complètes, réparties sur cette période. Comme pour l'étude précédente, nous avons procédé à des entretiens semi-directifs (individuels uniquement), construits sur base d'analyses rétrospectives ; nous avons également assisté à de nombreuses réunions de conception et organisé 4 réunions de débriefing.

Nous avons suivi tout particulièrement les phases préliminaires de la conception - soit la définition d'un «schéma directeur» ; la confrontation des idées respectives des deux concepteurs ; la sélection d'une des variantes et son évolution - toutes ces phases étant outillées soit par le dessin à main levée, soit par des modèles 3D rapidement réalisés. Nous avons installé deux caméras (pointant chacune l'un des deux postes de

travail) pour la capture de ces phases. Les designers ont accepté de lancer eux-même les caméras dès qu'ils travaillaient à ce projet<sup>7</sup>, méthode que nous nommons auto-film et 3 journées complètes d'enregistrements vidéo ont ainsi été recueillies<sup>8</sup>.

#### 3.2.4. Spécificités, variants / invariants

Le processus de conception, dans son déroulement chronologique, peut paraître relativement classique : les deux designers, après réception du cahier des charges, ont d'abord été prendre quelques photos dans des points de vente existants, ont débattu le projet et ont listé les principales contraintes ; ils ont ensuite travaillé séparément sur la génération (dessinée) de plusieurs variantes et après avoir sélectionné la plus adaptée, ils se sont répartis les tâches pour faire évoluer le projet (via une semaine de modélisation 3D «d'esquisse» et une dizaine de jours supplémentaires pour la mise en planches et la génération des modèles détaillés<sup>9</sup> pour la demande de prix au sous-traitant). L'organisation du concours, en plusieurs phases distinctes et éliminatoires, pousse cependant peut-être les concepteurs à organiser les tâches de façon trop séquentielle : à chaque phase correspond un niveau de finition et de mise en détail qui ne correspond pas forcément au déroulement naturel d'un processus.

Le contexte particulier du concours et la contrainte temporelle laissent peu de marges de manoeuvre aux concepteurs : le projet doit être réalisé rapidement, les tâches doivent être réparties très tôt au sein du binôme. Le schéma directeur initialement proposé par Bruno pour le mobilier comptoir (via quelques croquis rapidement réalisés durant les premières heures du projet) figure finalement quasiment ce volet du projet dans sa forme finale. Pascal, après une courte phase de travail sur le comptoir, s'attèle de son côté à la conception du coin jeu en suivant un processus plus long et plus itératif, pour lequel aucune idée directrice ne structure initialement le processus.

Si les répartitions des tâches sont effectivement claires (chacun faisant évoluer, avec l'outil qu'il désire, sa «moitié» du projet), les coopérations et coordinations sont constantes et intenses. Les designers ne cessent de s'interroger l'un l'autre, de se conseiller, d'évaluer l'état d'avancement global du projet et d'en assurer la cohérence (mise à mal, donc, par le charte graphique confuse de la marque). Pour outiller cette synchronisation constante, les concepteurs s'échangent fréquemment leurs croquis, initiaux ou intermédiaires. En cela, ils capturent effectivement une *essence* de l'esquisse et cette information (graphique cette fois) complète les verbalisations des dessinateurs de PRO\_COLLAB.

---

7 L'espace de travail étant trop petit, nous n'avons pas voulu rester sans cesse sur place, au risque de perturber trop le processus.

8 La qualité des enregistrements vidéo permet de capturer toute l'évolution du projet, mais ne permet cependant pas une analyse fine au «trait par trait».

9 Nous appelons «modèles détaillés» les modèles dont les designers peuvent immédiatement extraire des plans de production.

Ce projet, tout comme PRO\_COLLAB, révèle les nouveaux usages de la CAO en phase préliminaire de conception et la modification des frontières traditionnelles de la conception préliminaire. Dans le cas présent, le projet a autant été nourri, en phase conceptuelle, par les 3 jours de dessin à main levée que par la semaine de modélisation : plusieurs variantes ont été testées, évaluées, affinées ; des erreurs ont été détectées et traitées ; des échanges et négociations ont eu lieu tant sur le papier que face à l'écran. Nous détectons à nouveau plusieurs niveaux d'abstraction et observons également la prégnance des représentations tri-dimensionnelles, tant au sein des externalisations dessinées que numériques.

Cette étude présente enfin deux autres particularités. La première tient en l'usage qui est fait de la représentation : le client étant absent tout au long du processus de conception préliminaire, les designers n'ont pas à convaincre un public extérieur de la qualité (intermédiaire) de leur projet par l'usage de «belles images». Le travail de conception étant exclusivement interne à l'entreprise (pas de négociations avec le marketing ni avec des prototypistes comme c'est le cas dans PRO\_COLLAB), le processus observé est donc dénué de toute intention de «plaire visuellement», jusqu'à la phase de «mise en planches» tout du moins (figure 50). Les externalisations capturées peuvent donc être considérées comme «l'essence pure, communiquée» (la *key feature*) d'un projet coopératif instantané, développé entre deux sujets qui travaillent depuis longtemps ensemble, qui se sont répartis très clairement les tâches et entre lesquels les négociations consistent plus à déceler, en binôme, la solution la plus satisfaisante qu'à positionner sa créativité par rapport à celle de l'autre.



Fig. 50 - A gauche, représentation interne à l'équipe. A droite, extrait du modèle 3D détaillé tel qu'imprimé sur les planches.

La seconde particularité est liée à l'organisation du projet en deux «sous-conceptions» distinctes. Le comptoir est immédiatement construit à partir d'une image mentale forte, très rapidement couchée sur le papier par Bruno : l'idéation est très clairement interne et l'externalisation (papier puis numérique) sert dans ce cas à évaluer une idée, ses proportions, ses relations au contexte et à en détailler certains

aspects (cette observation confirme de ce fait l'hypothèse proposée en section 3.5.3 du chapitre 2). Le coin-jeu, lui, voit ses principes réellement nourris par une conversation réflexive avec ses externalisations (papier et numérique, *simultanément*) : Pascal crée des formes et des principes techniques, qu'il modifie et rejette parfois ; la visualisation du projet n'est pas qu'évaluative, elle est aussi constructive. Ces deux manières de concevoir, à notre avis aussi fréquentes l'une que l'autre<sup>10</sup>, appellent donc une relation différente aux objets médiateurs.

#### 4. Etude du trait en conditions contraintes

L'étude PRO\_DUO complète et affine les résultats de PRO\_COLLAB en ce qui concerne l'analyse de l'activité de conception en contextes professionnels. Ces deux études, comme nous le verrons dans le chapitre quatre, nous permettent de traiter en profondeur déjà quatre des six thématiques d'intérêt : les processus de conception préliminaire ; les impacts du contexte ; les usages et spécificités des objets médiateurs. Elles abordent les principes, modalités et mécanismes sous-jacents de conceptions collaboratives. L'importance du dessin à main levée est confirmée, mais ses propriétés sont complétées par certaines spécificités des outils de Conception Assistée par Ordinateur qui semblent être fréquemment exploitées dès la conception préliminaire.

Dans la perspective de la mise au point d'un outil d'assistance, il nous faut également à présent analyser plus finement les deux thématiques restantes, à savoir :

- les mécanismes de transition entre représentations 2D et 3D d'un objet ;
- la structuration et le contenu des représentations externes générées (unité graphique ; formalisme) et surtout la capture de leurs caractères pertinents.

Une telle étude de l'unité graphique ne peut se faire qu'à un niveau granulométrique fin qui requiert la mise en place de protocoles plus particuliers, tels que mis en oeuvre dans les deux études suivantes.

##### 4.1. Etude longitudinale ANOTO - Taxonomie des traits et vente de la représentation : le cas de la commande

L'étude ANOTO introduit l'étude du trait en situation contrainte. En testant un dispositif particulier d'input et de capture du trait, nous entamons l'analyse fine de la construction d'une idée et son externalisation sur le papier (figure 51). Cette analyse participe à la mise au point d'une taxonomie des différents types de traits et introduit également une classification des différents types de dessins existants. Ces dessins, avec leurs degrés d'abstraction et niveaux de contenus divers, se positionnent sur une échelle des possibles en matière de capture, reconstruction et interprétation du trait.

---

<sup>10</sup> ... et qui ne souffrent aucun jugement de valeur ...



Nous constatons également que certains principes graphiques apparaissent de façon récurrente tout au long de l'étude. Il s'agit des annotations, des primitives de structure et de la cristallisation des traits (à distinguer de l'over-tracing), qui manifestement structurent la pratique observée.

La prégnance de la représentation 3D dessinée (i.e. la perspective<sup>11</sup>) est enfin appuyée par cette étude, qui dégage à ce sujet quelques grands principes de transfert entre représentations bi- et tri-dimensionnelles. Plus important encore, cette étude apporte des éléments de réponse à deux points cruciaux révélés par l'état de l'art et qui questionnent :

- d'une part la prégnance, en design industriel, de contenus qui typiquement nourrissent l'interprétation des traits dans d'autres domaines (symboles, primitives, règles géométriques) ;
- et d'autre part, en prenant plus de recul, la pertinence de l'interprétation du dessin et de la génération automatique d'un modèle 3D.

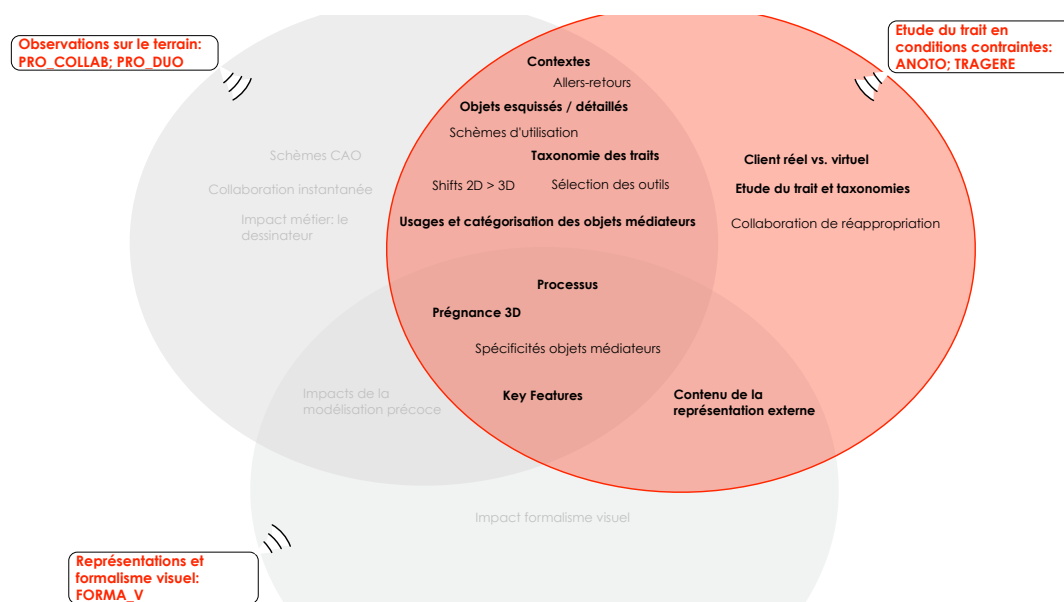


Fig. 51 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'étude ANOTO.

#### 4.1.1. Présentation du contexte et de l'équipe

A l'instar de PRO\_DUO, ANOTO intègre une autre situation particulière mais récurrente de la pratique du design : le contexte de la commande. Cette commande implique deux parties : d'une part la maîtrise d'ouvrage, ou les clients, soit 4 personnes dans le

<sup>11</sup> Nous utiliserons ici le terme « perspective » pour désigner des représentations dessinées qui présentent les caractéristiques de la perspective dite « axonométrique » (les lignes parallèles sont représentées parallèles et les distances ne sont pas réduites par l'éloignement). Ce faisant, nous respectons l'usage du terme tel que recensé dans tous les verbatims. Nous attirons cependant l'attention du lecteur : le terme « perspective » ne fera donc pas référence, ici, à la perspective conique telle que nous l'entendons habituellement (i.e., qui exploite la technique du ou des point(s) de fuite).

cas présent et d'autre part la maîtrise d'oeuvre, soit un designer Antoine et un expert Maxime appartenant à la même entreprise de conception (figure 52). Les clients (un ingénieur architecte, un ingénieur informaticien, une responsable gestionnaire et un commercial) et leur implication dans le processus ne seront pas étudiés ici - tout comme la recherche d'inspiration ou le phénomène de créativité, ils sont considérés comme inputs extérieurs au projet.

Sujet	Rôle	Ancienneté (poste)	Formation
Antoine	Designer senior en charge du projet.	Haut niveau d'expertise, tant dans le secteur de conception que dans l'utilisation des outils numériques	La Cambre, Bruxelles
Maxime	CEO de l'entreprise ; designer de profession mais se positionne comme expert-conseil senior dans le cadre de ce projet (domaine d'expertise : les bornes interactives destinées au grand public).	Fondateur de l'entreprise (2002)	La Cambre, Bruxelles

Fig. 52 - L'équipe de ANOTO.

Seul le designer exploite les outils numériques de modélisation, le rôle de Maxime étant principalement de manager le déroulement du projet. Antoine utilise le logiciel VectorWorks® (différent de SolidWorks®) et en fait un usage expert : il effectue lui-même la mise en plan de détails et production. L'exploitation de l'outil CAO tout au long de ce projet est caractéristique : Antoine l'utilise d'abord comme outil de modélisation «esquissée», puis comme outil communicationnel et enfin comme outil de dessin technique (seule fonction pour laquelle ces logiciels sont initialement prévus).

#### 4.1.2. L'objet de la conception

Le laboratoire auquel nous appartenons désire commercialiser un prototype issu de ses activités de recherche, le «bureau virtuel de conception». Ce prototype constitue un premier environnement hardware dédié à une application logicielle elle aussi développée au sein du laboratoire (SketSha), qui permet à des professionnels de la conception (architectes, ingénieurs, designers, ...) de collaborer à distance et de façon synchrone (via l'échange de documents, sur lesquels on peut dessiner et annoter et via une vidéo-conférence). Le prototype (voir figure 53) est actuellement composé d'une colonne (soutien d'un système de projection), d'une table digitale (pour la capture des traits) et d'un ordinateur (qui supporte la gestion et transmission des traits mais aussi la vidéo-conférence intégrée au système).



*Fig. 53 - Le prototype développé en interne.*

Ce premier prototype, développé en interne par quelques membres de l'équipe de recherche, ne peut évidemment être proposé tel quel aux professionnels de la conception. Les responsables du projet de développement et commercialisation décident donc de faire appel à Antoine et Maxime pour la conception d'une nouvelle version hardware du projet, plus aboutie, qui puisse intégrer de façon plus cohérente les différents composants et qui puisse surtout être produite en série.

Les clients sont depuis longtemps experts dans le développement de ces dispositifs techniques complexes et proposent en conséquence à la maîtrise d'oeuvre un cahier des charges relativement précis. Celui-ci comporte un certain nombre de contraintes principalement techniques qui doivent absolument être respectées pour assurer au système un fonctionnement suffisamment robuste, pré-requis à sa commercialisation. La maîtrise d'oeuvre, client «expert» en conception, laisse par contre au designer de plus larges marges de manoeuvre en ce qui concerne l'éventuelle refonte formelle du système.

#### 4.1.3. Méthodologie et recueil des données

Une des particularités de l'étude est l'étroite relation que nous entretenons avec les clients qui, faisant partie de notre laboratoire, sont donc nos collègues. Les designers, en s'engageant dans la réalisation de la commande, ont préalablement accepté que nous les suivions tout au long du processus de conception, en l'échange de l'assurance de notre position impartiale durant le projet.

Nous avons particulièrement veillé à ce que notre position d'observateur soit effectivement neutre : nous avons participé aux réunions de présentation d'état d'avancement sans jamais commenter aucune des actions des deux parties. Nous ne nous sommes pas investis dans les décisions de la maîtrise d'ouvrage, n'avons influencé aucun de ses membres et n'avons par ailleurs jamais divulgué aucune information dont les designers auraient pu nous faire part au cours des sessions de débriefing. Réciproquement, nous n'avons jamais partagé avec les designers certains éléments d'information dont nous aurions pu prendre connaissance sur notre lieu de

travail, internes à l'équipe et propres au processus réflexif décisionnel. Notre rôle n'était résolument pas celui d'intermédiaire au service de l'une ou l'autre partie, mais bel et bien d'observateur extérieur au projet.

L'ensemble du projet s'est étiré sur plusieurs mois. Nous l'avons suivi des tout débuts jusqu'à la phase de mise en détail, soit 5 mois et demi. Nous avons assisté et enregistré 8 réunions de travail (dont une en télé-conférence), en présence des clients et de Maxime, en sa qualité d'expert-conseil. Nous avons par ailleurs organisé deux réunions de débriefing avec le designer-concepteur Antoine. Au cours de la première, nous avons mis en oeuvre un entretien et des analyses rétrospectives classiques, dans le respect de notre méthode globale de travail. Au cours de la seconde, nous avons examiné le processus de conception avec l'aide du designer, sur base de ses propres traces (dessins Anoto® et captures statiques de modèles numériques). Nous avons également pu récupérer la majeure partie des emails échangés durant le projet, huit d'entre eux avec leurs documents joints (cahier des charges, représentations numériques statiques du projet, plans techniques etc.). L'ensemble de ces données a fait l'objet d'un traitement uniquement qualitatif et sans codage particulier.

En ce qui concerne les traces graphiques dessinées du projet et étant donné les délais, la distance géographique et l'agenda chargé d'Antoine (qui s'investit dans plusieurs projets en parallèle), nous avons opté pour leur capture synchrone et un traitement, lui, asynchrone. La capture en auto-film des séquences de conception étant sujette à trop de variabilité<sup>12</sup>, nous avons opté, avec l'accord préalable du sujet, pour la technologie Anoto® de récupération des traces. Cette technologie se compose de deux éléments distincts (figure 54) : d'une part un stylo bille, à l'apparence classique, mais intégrant une caméra et une puce mémoire et d'autre part un cahier à feuilles «digitalisées».

Chaque feuille est imprimée d'une trame unique de micro-points, sur lesquels on peut librement dessiner, écrire, annoter, ... avec le stylo bille (figure 55). Traits et trame sont capturés en temps réel par la caméra intégrée au stylo (à raison de 50 images/sec minimum) et l'information est enregistrée (la puce pouvant capturer l'équivalent de 50 pages A4 dactylographiées). L'information est ensuite transmise (via connexion USB) à l'ordinateur et au logiciel de traitement dédié, qui récupère les traits et les positionne spatialement et chronologiquement grâce à la trame de points. L'application nous permet ainsi, à loisir, de rejouer a posteriori l'ensemble du dessin, trait par trait, dans l'ordre exact dans lequel il a été effectué (les changements de page étant également enregistrés). Cette technologie nous a permis de récupérer pas moins de 11 pages de dessins, présentant 12 variantes du nouveau «bureau virtuel de conception» en 115 croquis distincts (dont 9 schémas de principe et une petite trentaine de dessins à caractère technique).

---

<sup>12</sup> Testée durant l'étude «PRO\_DUO», cette méthode a en effet révélé ses faiblesses : qualité de la vidéo insuffisante pour une analyse fine de l'apparition des traits ; oublis réguliers de lancement des caméras et perte de données.

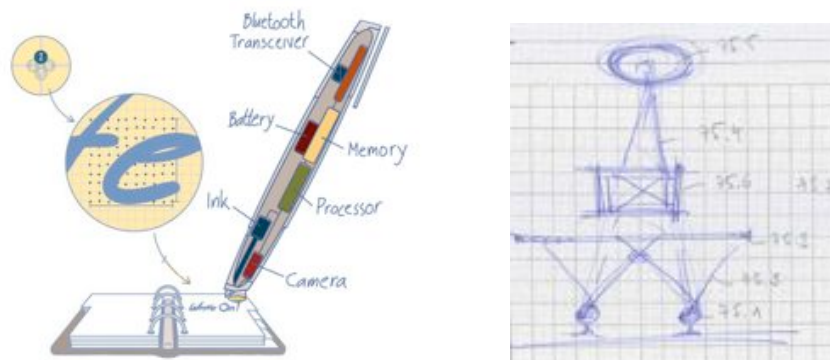


Fig. 54 (droite) et 55 (gauche) - La technologie Anoto® : son stylo bille et son cahier digitalisé. Issu de (Anoto, 2011).

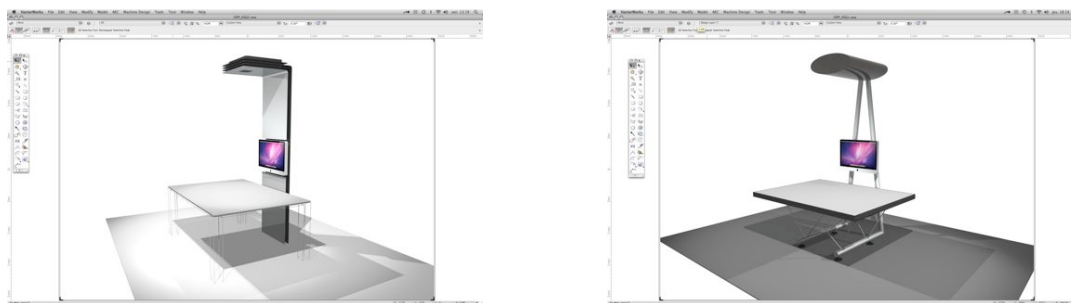
#### 4.1.4. Spécificités, variants / invariants

L'ensemble du processus de conception est rythmé par les réunions entre clients et designers. Ces réunions fixent les délais, bien sûr, mais font surgir également de nouvelles contraintes, qui provoquent de nouveaux processus décisionnels, etc. Huit réunions sont observées, parmi elles quatre révèlent toutes les spécificités de la situation.

Pendant la première réunion, les designers présentent leur reformulation du cahier des charges. Les clients avaient fourni des données très précises quant aux différentes technologies à disposition, mais les concepteurs ont préféré effectuer leurs propres recherches et reformuler entièrement la demande, pour s'assurer de bien saisir toutes les complexités du projet. La réunion se fait sur un mode brainstorming, le seul support étant projeté et figurant les quelques variantes de technologies existantes. Très rapidement un constat émerge : étant donné le budget, les délais et les contraintes technologiques, le concept «colonne et table» déjà exploité au travers du premier prototype est finalement le plus viable. C'est autour de ce principe que les designers devront donc proposer des solutions. Notons qu'à partir du moment où cette décision (cruciale pour l'ensemble du processus) est prise, le premier prototype en question, qui est physiquement monté dans la pièce où se tiennent les réunions, va ancrer la plupart des discussions futures et va devenir le référent physique commun des sessions de travail.

Les designers vont ensuite collaborer pendant plus d'un mois à la conception de plusieurs variantes. Si Antoine garde la main sur l'externalisation des idées, il envoie fréquemment ses esquisses (papier ou numériques) à Maxime pour évaluation et validation. Sept variantes sont proposées durant la seconde réunion : le designer les nomme «esquisses», mais se sont en réalité des modélisations 3D relativement abouties visuellement mais somme toute «grossières» dans leur réalisation : les volumes sont très rapidement construits, en respectant quelques dimensions repères, mais aucun effort n'est apporté à la mise en détail (les détails n'étant d'ailleurs à ce stade pas encore connus). Seules quelques textures et sources de lumière sont ajoutées au

modèle et lui donnent cet aspect «fini» (mais pas photo-réaliste, figure 56). Notons au passage que ces modèles «grossiers» sont visuellement très proches de modèles détaillés, tels que nous avons pu les observer dans PRO\_DUO : les logiciels actuels de modélisation 3D optent tous pour un même style visuel, qui rend d'éventuels détails techniques invisibles à l'échelle globale d'un projet de cette taille (sur les captures d'écran statiques). C'est donc bel et bien au sujet concepteur que revient la décision de présenter des modèles plus ou moins précis : le logiciel se plie, dans ce cas, à son exigence et parvient tout autant à conquérir visuellement le public concerné.



*Fig. 56 - Capture statique de deux des variantes proposées.*

Le «conference call» est un autre exemple typique des difficultés vécues par les designers au quotidien. Clients et concepteurs n'ayant aucune possibilité pour être physiquement présents dans la même salle, une réunion téléphonique est organisée. Chaque participant a devant lui des documents de référence, partagés et communs, qu'il annote à sa guise. Plusieurs phénomènes apparaissent : observant le côté client, nous remarquons que naturellement ils soutiennent leurs verbalisations en désignant (pour eux même) l'écran du portable ou les documents. Ils se tournent également fréquemment vers le prototype référent, présent dans la pièce. Le processus est entaché par de nombreuses incompréhensions, les différentes parties parlant fréquemment de choses différentes et de nombreux apartés se développent, de part et d'autre, qui ne facilitent pas la communication. La collaboration manque cruellement d'un élément clé : un support - physique - commun de soutien à la collaboration.

La dernière réunion dont nous ferons état ici nous connecte à la problématique de la formalisation des représentations. Alors que les clients étaient relativement charmés par les captures de modèles 3D jusqu'alors présentés, le designer propose à ce stade des plans plus techniques, 3D également, mais en noir et blanc. Fait surprenant, ce type de représentation suscite beaucoup plus de réactions : les clients perçoivent une autre réalité du projet et questionnent soudainement les proportions, les courbes, les angles, pourtant présentés tels quels depuis plusieurs semaines. Cette observation va à l'encontre d'un postulat fréquemment proposé dans la littérature, mais jamais prouvé empiriquement (à notre connaissance) et qui suppose que les représentations en couleur sont plus «efficaces»<sup>13</sup> que celles en noir et blanc (cf. section 4.6 du chapitre 2).

---

13 Tout dépend évidemment de la définition donnée à l'efficacité : dans ce cas, les représentations en couleur peuvent effectivement être considérées comme étant plus efficaces pour convaincre les clients et limiter les questions embarrassantes.

La réaction des clients concorde par contre avec une autre théorie présentée en section 4.1 du chapitre 2 et qui lie représentation et interprétation dans leur essence.

Si nous nous permettons de détailler ici ces quelques réunions, c'est parce qu'elles sont représentatives de réflexes qui structurent la perception d'un objet en cours de conception. Tout d'abord apparaît très rapidement le besoin naturel de se tourner vers une représentation (ici, physique) de référence, véritable soutien aux désignations, à la communication en général. Lorsque ce référent disparaît de la vue d'une des deux parties, des incompréhensions surgissent. Par ailleurs, des représentations «léchées» visuellement rassurent le client : la représentation ressemble à une réalité qui semble tellement «constructible» qu'elle inhibe les questions. Le modèle 3D, même grossièrement réalisé, en devient l'outil communicationnel par excellence. Il faut attendre un stade avancé du projet, où les clients sont acquis et où le designer s'autorise des représentations plus simples, pour que des questions pourtant formelles ne resurgissent. Nous faisons un autre constat, à la suite du dernier débriefing avec Antoine : il a inconsciemment travaillé plus en profondeur les esquisses de la variante qui sera finalement sélectionnée, parmi les sept initialement proposées. Cette variante «lui parlait» plus que les autres, il lui a attribué plus de temps et a effectué plus de transferts entre externalisations 2D et 3D de ce projet. Si toutes les propositions étaient identiquement modélisées dans VectorWorks®, cette solution présentait effectivement quelques détails complémentaires qui ont séduit les clients (figure 57).

Nous saisissons par là deux éléments d'importance : tout d'abord l'impact qu'à un modèle 3D, simple dans sa construction mais à l'allure quelque peu détaillée, sur la «séduction» du client et ensuite l'impact que peut avoir un processus spécifique de construction d'une idée sur le choix final d'une variante.



*Fig. 57 - Capture statique du modèle 3D de la variante sélectionnée.*

Cette étude soulève enfin et nous le détaillerons plus loin, le problème de la non traçabilité des décisions. Tout au long du processus, les divers intervenants n'ont cessé de soulever des problèmes, ou faire des suggestions, qui n'ont que très rarement été capturées par un autre membre. Bon nombre de ces éléments ont été rapidement laissés de côté, tandis que les participants ne sont parfois plus parvenus à justifier d'autres décisions.

Cette étude, malgré ses limitations, nourrit une large part des résultats relatifs à la taxonomie des traits, aux principes graphiques récurrents et aux types de dessin (comme nous le décrivons dans le chapitre quatre). Certains mécanismes de transformation des représentations 2D et 3D sont également suggérés. Nous nous interrogeons cependant : ces types de traits (ainsi que leurs récurrences) et ces usages des objets médiateurs ne sont-ils pas propres à ce designer particulier ? Le contexte de récupération des traces et la technologie Anoto® utilisée n'impacteraient-ils pas les résultats obtenus ? Nous décidons d'élargir quelque peu le panorama afin d'en évaluer la représentativité.

#### 4.2. Expérimentations ciblées en laboratoire TRAGERE - Opérationnalisation des taxonomies, capture des principes de réappropriation et des key features

L'objectif de cette expérimentation est de tester certains constats suggérés par les observations du sujet principal de l'étude ANOTO et des deux sujets de l'étude PRO\_DUO et d'en évaluer l'éventuel caractère systématisable. En particulier, nous approfondissons l'étude des phénomènes de transfert et réappropriation ainsi que l'examen des principes graphiques récurrents, comparés aux key features (ou essence communicable).

Nous partons d'un point de vue peu courant, proposé par Achten, Dorst, Stappers et de Vries (2005) : d'après ces auteurs, les esquisses (comprendre «dessins») n'ont rien d'ambigu. Si les représentations (architecturales) sont effectivement traditionnellement considérées comme floues et ambiguës, c'est en réalité parce que les «utilisateurs» (comprendre les collaborateurs, mais aussi les chercheurs en passe de les «augmenter») les interprètent comme telles. Les concepteurs ayant généré ces représentations les considèrent en revanche comme parfaitement claires, allant «droit au but».

Cette prise de position permet à Achten et ses collègues de délaissier l'étude des niveaux d'abstraction des représentations, pour s'intéresser plutôt à leurs indices utiles. Nous exploitons ce postulat pour la mise au point de l'expérimentation TRAGERE : nous nous détachons ainsi encore un peu plus des éléments de contextes professionnels pour nous concentrer sur l'essence communicable du croquis, ou la key feature, n'importe quel trait (à n'importe quel niveau d'abstraction) étant susceptible d'y participer.

Cette capture de l'essence communicable d'un dessin peut se faire de multiples manières. On peut par exemple tenter d'interpréter soi-même les caractéristiques communes de plusieurs représentations, en partant du postulat qu'elles contiennent par défaut l'ensemble des données nécessaires. On peut également faire intervenir plusieurs experts, jury évaluant les représentations, les classant et sélectionnant leurs caractéristiques essentielles.

Nous avons opté pour un autre protocole, qui, en mettant en lumière les principes de transferts et réappropriation entre deux designers, nous permet de détecter plus naturellement les key features d'un dessin, d'une manière qui nous apparaît en tout



cas moins subjective. Chaque binôme de designers, l'un générant une première proposition, l'autre se la réappropriant et la faisant évoluer, amplifie artificiellement l'essence communicable de l'idée. Etant conscients de cette passation de l'information (uniquement graphique), nous constatons que les sujets «générateurs» (ou «D0») insistent effectivement sur les marques de transfert, tandis que les sujets «récepteurs» (ou «D1») y accordent plus d'attention (sans autant vouloir se les approprier totalement, comme nous le verrons).

L'expérimentation TRAGERE nous fournit ainsi non seulement le signal amplifié de la key feature graphique communicable, mais également d'intéressantes pistes quant aux mécanismes perceptifs mis en oeuvre par l'humain (figure 58). Ces indices, s'ils s'avéraient universels, pourraient nourrir une éventuelle capture et interprétation logicielle.

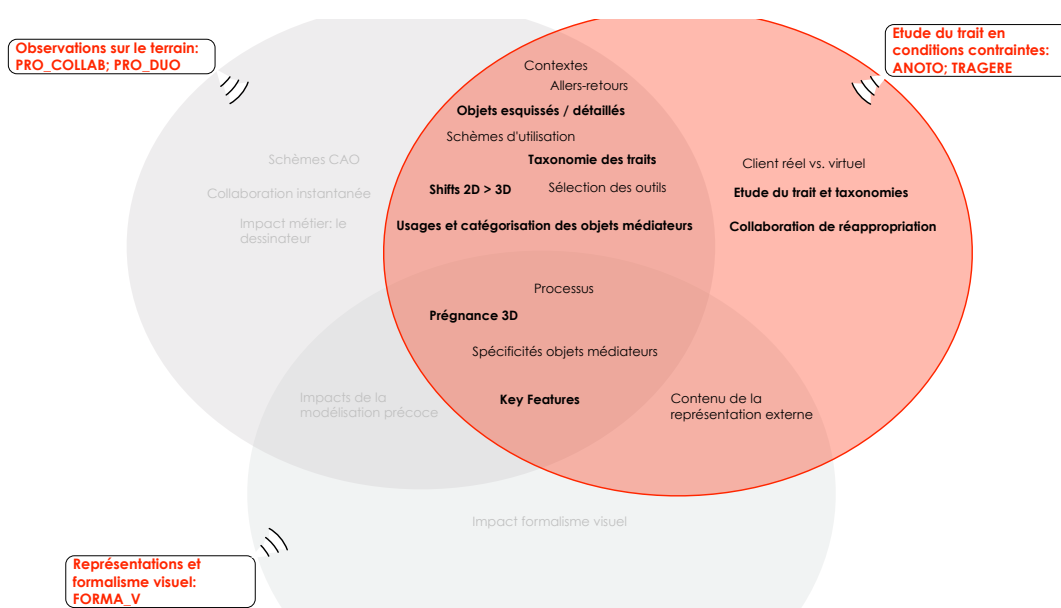


Fig. 58- Les thématiques d'intérêt révélées par l'expérimentation TRAGERE.

#### 4.2.1. Présentation du contexte

Nous avons contacté 6 entreprises, toutes de secteurs différents (mais toujours en design industriel), dont les designers ( 9 experts ; 4 juniors) ont aimablement accepté de se prêter au jeu. Les contextes ont donc énormément varié, mais n'impactent pas l'expérimentation dont le protocole est toujours semblable.

Nous n'avons pas voulu, après réflexion, observer les transferts entre designer et dessinateur. S'il est vrai que le dessinateur aurait peut-être pu recevoir et percevoir différemment le dessin, nous avons néanmoins opté pour des binômes designer/designer et ce pour plusieurs raisons.

L'appel à des sujets de profession semblable nous semble tout d'abord offrir plus de perspectives quant à l'évolution du projet dessiné. Le dessinateur, même si son expertise dans le secteur du design industriel lui permet de détecter des erreurs, de

parfois proposer une alternative à son collègue designer, se contente cependant souvent d'appréhender visuellement la trace transmise pour la transférer à l'écran. Le phase de modélisation qui s'en suit aurait pu apporter d'intéressantes informations quant au processus même de numérisation (mais ce type de données a déjà été capturé auparavant via le 13<sup>ème</sup> moment de conception de l'étude PRO\_COLLAB) ou quant à la transformation du projet lors de son passage 2D > 3D et la compréhension des mécanismes de cette transformation (mais cette compréhension est déjà initiée dans PRO\_DUO et complétée par les données de ANOTO). Nous aurions pu également demander aux dessinateurs de verbaliser leur perception de la trace graphique initiale, mais cette étape est également réalisée au cours de l'étude PRO\_COLLAB. Le dessinateur, après la phase de perception, d'interprétation et de détection des erreurs, va de plus très rapidement s'atteler à la mise en modélisation de détail du projet (puisque la modélisation esquissée remplit d'autres rôles et est de ce fait déjà adoptée par les designers eux-mêmes). Nous intéressant principalement aux phases préliminaires de la conception, nous ne voulions pas prendre le risque de ce biais. Les binômes de même profession outillaient donc mieux, d'après nous, l'appréhension de principes neufs de transfert, d'appropriation et d'évolution de la trace dessinée.

Le focus exclusif sur des designers répond enfin mieux à notre objectif de mise au point d'un outil d'assistance à la conception préliminaire. Si le système peut sans aucun doute supporter quelques facettes du travail du dessinateur et répond également aux «besoins collaboratifs» d'acteurs d'expertises différentes, c'est bien entendu aux processus de *conception en design industriel* que nous nous intéressons avant tout.

#### 4.2.2. Les sujets et l'objet de la conception

Trois énoncés fictifs constituent la base de travail des 13 concepteurs ayant participé bénévolement à l'expérimentation. Chacun de ces énoncés (voir Annexe 7) se développe en deux versions : une version pour le designer D0, générateur des premiers traits et une seconde version pour le designer D1, qui récupère le projet en cours de conception. Les trois énoncés proposent un cahier des charges volontairement court et simplifié, l'intérêt étant plus ici d'analyser les key-features et les mécanismes de transferts que de se replonger dans une étude des processus ou de considérer la gestion des contraintes. La première version s'accompagne oralement de l'explication du phénomène de passation au designer suivant ; cet aspect de l'exercice est par contre simplement présenté par écrit dans la version du designer D1, sans qu'un commentaire de la part de l'expérimentateur ne souligne cette particularité. Indépendamment de cela, les deux versions de chaque énoncé sont identiques.

Il est par ailleurs expliqué à chaque sujet qu'aucune interaction (autre que graphique) n'est autorisée entre les membres des binômes ; l'espoir est que les participants D0 amplifient en conséquence les critères communicables de leurs projets et que les participants D1 expriment d'autant plus les éventuelles incompréhensions. Tous les énoncés spécifient enfin que les dessins restent personnels et ne sont partagés en interne qu'avec quelques collègues designers. Cet ajout vise simplement à ce que les dessins restent graphiquement naturels, communicables en interne mais sans pour autant être trop travaillés visuellement.

Les trois énoncés ont été définis sur base des trois principaux secteurs dont sont issus les 13 designers, à savoir le secteur du design de produit (objets de tous les jours), le secteur du design immobilier (et architecture d'intérieur) et le secteur du design naval. Respectivement, les cahiers des charges envisagent donc un plateau de cantine pour enfants de primaire ; un « coin jeu » pour un organisme public de loterie (directement inspiré du cahier des charges de l'équipe PRO\_DUO) et un petit yacht de plaisance. Chacun des énoncés a été validé par un premier sujet, expert du domaine.

Les 13 sujets sont tous experts dans leur secteur propre mais n'ont pas été sélectionnés pour leurs compétences en expression graphique : les niveaux d'expertise à ce sujet sont des plus variés.

#### 4.2.3. Méthodologie et recueil des données

Chaque designer a dans un premier temps accepté de se soumettre à notre traditionnel entretien sur base d'analyses rétrospectives. Dans un second temps, nous avons proposé au designer de dessiner pendant quelques minutes n'importe quel objet afin de s'accoutumer au périphérique de saisie (une tablette graphique Cintiq de WACOM® et son stylet) et au software Tragere® d'input des traits, développé au LUCID par Jeunejean (2004).

La tablette, en réalité un écran de 21,3 pouces connecté à un ordinateur portable, capture la position, l'inclinaison et la pression du stylet (via un principe de résonance électro-magnétique). La surface active (et non tactile, ne capturant donc pas les mouvements des doigts ou la pression de la main, de l'avant bras), un peu plus grande qu'une feuille A3, permet au concepteur de croquer librement ses idées en n'étant pas gêné par les dimensions plus réduites et le feed-back visuel distant des tablettes traditionnelles. La tablette peut s'incliner de 10 à 65° et peut être tournée de 180° ; en dehors de la sur-épaisseur qu'elle induit, le concepteur peut donc travailler quasiment dans toutes les positions proposées par une feuille sur une table à dessin.

Le logiciel Tragere®, quant à lui, tire parti de divers niveaux de sensibilité de la tablette en proposant une palette de 18 crayons de duretés différentes (allant du 8H au 8B) ainsi qu'une gomme (figure 59) et une variété de feuilles à dessin. Tout l'intérêt de l'application réside dans l'algorithme qui sous-tend chaque « coup de crayon » : le système simule l'interaction réelle entre une mine de graphite et un certain type de papier (défini par défaut à 800\*600 pixels et 100 grammes/m<sup>2</sup>, mais dont il est possible de modifier la structure et le grammage) et retourne à l'utilisateur, en temps réel, un visuel quasi identique à cette interaction réelle (et exploitant donc les changements de pression et d'inclinaison). L'application propose également un menu gestionnaire de calques, que l'on peut superposer de façon opaque, semi-transparente ou transparente selon les besoins.



*Fig. 59 - L'application Tragere® et son rendu visuel photo-réaliste d'un dessin «papier-crayon».*

Dans un troisième temps, le sujet est invité à lire l'énoncé et à poser toutes les questions qui lui viennent à l'esprit. L'observateur insiste sur les conditions de confiance qui doivent prévaloir tout au long du processus et commente, pour les designers D0, les conditions du transfert. Le designer D0 pourrait en effet craindre d'être jugé par son «successeur» sur base de la trace graphique, tandis que le designer D1 pourrait lui se montrer réticent à récupérer un dessin qui n'est pas le sien. Dans les deux cas, la situation peut être considérée comme «écologique» (les jugements de valeurs entre professionnels et les récupérations de projets extérieurs étant monnaie courante dans le domaine), mais est intentionnellement au maximum évitée en garantissant au binôme que l'objet conçu n'est à aucun stade évalué pour la qualité de son contenu. L'expérimentation est plutôt présentée comme l'évaluation d'une interface et d'un logiciel et comme l'étude des modalités de transfert en collaboration. Notons au passage que les binômes sont «aveugles», les designers ne connaissent donc pas l'identité du partenaire dont ils reçoivent (ou à qui ils passent) leurs traces graphiques. Nous évitons de ce fait l'impact de la familiarité qui peut exister entre collègues et qui pourrait biaiser la réalisation de la tâche de conception.

Il est ensuite demandé aux sujets de procéder à la conception de l'objet en verbalisant simultanément. La tâche étant simple et courte (une demi heure à quarante-cinq minutes tout au plus, cette durée étant déterminée par le designer lui-même), la verbalisation simultanée n'en gêne pas le déroulement et permet à l'observateur de capturer plus facilement l'essence communiquée et récupérée du dessin (figure 60). On pourrait craindre que le caractère simplissime du projet n'affecte la motivation des sujets, mais même si cela devait être le cas cela n'impacterait pas outre mesure la qualité des résultats obtenus : les principes d'essence communicable, de perception et d'appropriation qui nous intéressent apparaissent naturellement, indépendamment de l'effort consenti. Soulignons également que les limitations des expérimentations en laboratoire, telles que présentées dans (Lawson, 2004), n'ont pas un impact significatif sur la qualité des ces mêmes résultats : ils sont moins impactés par des contextes modifiés ou un temps de maturité limité que l'auraient été des analyses fines du processus.

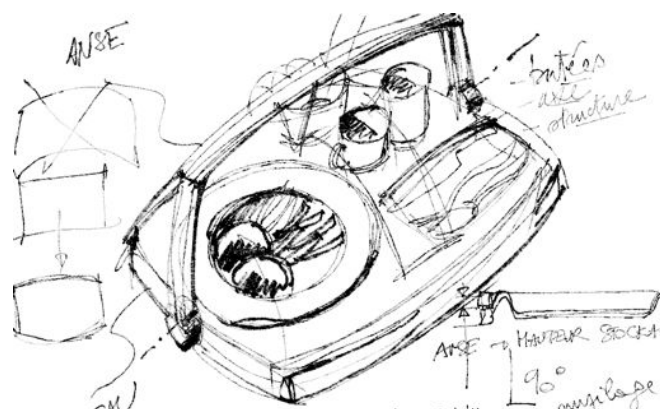


Fig. 60 - Un exemple de conception rapide pour un plateau de cantine.

Une fois la tâche réalisée, il est enfin demandé aux designers de nous faire part de leur feed-back quant à l'utilisabilité de l'interface et la qualité du rendu visuel proposé par Tragere® (figure 61). L'analyse des retours obtenus, très riches, sort du cadre de ce travail. Notons cependant que l'interface et l'application sont largement appréciés par cette communauté qui y voit un premier pont entre carnet de croquis et logiciels de conception assistée par ordinateur. Nous constatons de plus que le fait d'avoir présenté l'expérimentation plutôt comme un recueil d'avis a largement décomplexé les sujets quant à leurs conceptions et que la brièveté de la tâche a dynamisé les investissements personnels (figure 62).

#### Feed-back interface.

- 1) Que pensez vous globalement de l'outil ?
- 2) Comment trouvez vous : le touché - le rendu numérique du papier et des crayons - les menus et fonctionnalités (claques, transparence) ?
- 3) Quels sont les avantages et limitations de cette interface, par rapport aux outils traditionnels ou CAO ?

Fig. 61 - Quelques questions visant à confirmer l'objectif d'évaluation de l'interface

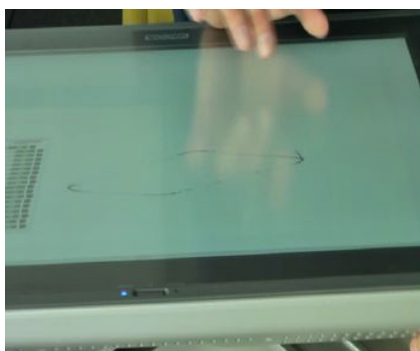


Fig. 62 - Un concepteur regrette l'absence de «control-z» et en mime le geste dans l'espace (schème du geste immédiatement extrait des pratiques courantes de l'informatique).

Le logiciel Tragere® ne fournit, une fois le dessin réalisé, que le fichier statique des calques en superposition (la transparence étant encore éditable). Un logiciel libre trouvé sur internet (ScreenFlow®), lancé anticipativement, permet cependant d'effectuer une capture d'écran dynamique de l'activité de la tablette, ce qui nous permet de rejouer ensuite l'ensemble des traits dans leur apparition chronologique.

La figure 63 présente ensuite les modalités pratiques de la passation. Les trois premières expérimentations ayant lieu dans la même entreprise et au sein du même open-space, nous avons préféré ne soumettre que des énoncés «plateau» D0 de manière à éviter tout biais de familiarité entre designers. Nous avons ensuite sélectionné une des trois variantes (pour la multitude de ses types de traits) et l'avons soumise aux designers 4 et 5. L'expérimentation «yacht» présente, pour les mêmes raisons, 2 designers D0 pour une seule réappropriation D1. L'expérimentation «coin jeu», elle, a pu se dérouler comme prévu étant donné l'organisation des équipes (bien que les données de l'expérimentation 9 aient été malheureusement perdues). Il a cependant été demandé au designer 13 de traiter un énoncé D0 ; connaissant la facilité avec laquelle ce sujet dessine habituellement, nous voulions évaluer le nombre de variantes qu'il aurait le temps de développer étant donné ses aptitudes naturelles (voir section suivante).

Expérimentation n°/Designer n°	Énoncé	Répartition des tâches
1	Plateau	D0
2	Plateau	D0
3	Plateau	D0
4	Plateau	D1 ; récupération de D0_E3
5	Plateau	D1 ; récupération de D0_E3
6	Coin jeu	D0
7	Coin jeu	D1 ; récupération de D0_E6
8	Coin jeu	D1 ; récupération de D0_E6
9	Coin jeu	Données graphiques inutilisables.
10	Yacht	D0
11	Yacht	D1 ; récupération de D0_E10
12	Yacht	D0
13	Coin jeu	D0

Fig. 63 - Détails de la passation de l'expérimentation TRAGERE.

#### 4.2.4. Spécificités, variants / invariants

L'énoncé «coin jeu», immédiatement inspiré du projet de l'équipe PRO\_DUO, entraîne deux spécificités locales qui retiennent notre attention. La première résulte de la modification du cahier des charges, en accord avec les objectifs propres de l'expérimentation TRAGERE. De plusieurs pages (dans sa version originale) il passe à quelques lignes, mais contient cependant un ajout d'importance : l'énoncé stipule la nécessité de «*pouvoir faire son loto en toute confidentialité*». Cette contrainte supplémentaire se traduit par une réponse identique chez pratiquement tous les designers : ils ajoutent automatiquement deux parois latérales à leur proposition. Il se pourrait donc que certains impératifs se traduisent par des codes récurrents de conception.

La seconde spécificité tient au nombre de variantes de coin jeu proposées par les designers. Il est intéressant de constater que la contrainte de temps inhérente à l'expérimentation TRAGERE n'implique pas nécessairement que les solutions imaginées par les participants soient de moins bonne qualité ou en nombre inférieur à ce qui a été proposé, en plusieurs jours, par le binôme de PRO\_DUO. Le designer D0 de l'expérimentation 13 par exemple, sujet ayant des dispositions naturelles au dessin, propose en une petite heure pas moins de 7 variantes, toutes plus créatives les unes que les autres. Tout en veillant à rester en cohérence avec notre volonté initiale de ne pas juger de la qualité formelle et technique des projets observés, nous ne pouvons cependant que constater ce saut quantitatif important entre deux contextes d'étude pourtant diamétralement opposés. Cela peut être expliqué bien entendu par le fait que le designer 13 ait eu à gérer moins de contraintes simultanément, qu'il n'ait pas non plus été mis sous la pression temporelle et financière du contexte du concours. Sa créativité, soutenue par un coup de crayon efficace, en a été plus dynamisée.

De cette particularité de l'expérimentation nous retiendrons :

- d'une part que les bonnes idées, à condition qu'elles se détachent temporairement d'un contexte trop contraignant et soient correctement outillées (par des aides au dessin pour ceux qui n'auraient pas de dispositions naturelles par exemple), peuvent surgir rapidement ;
- et d'autre part que le contexte artificiellement imposé de l'expérimentation et sa temporalité peuvent très bien ne pas affecter les conditions optimales de conception préliminaire.

Comme annoncé dans la présentation des objectifs, TRAGERE nourrit la mise au point d'une taxonomie des types de dessins et des traits «augmentables» qui opérationnalisent la conceptualisation du système d'assistance. En particulier, les données recueillies confirment la prégnance des externalisations 3D chez tous les participants ainsi que l'absence d'une codification symbolique du dessin, telle qu'on peut la retrouver en architecture et, dans une moindre mesure, en ingénierie mécanique.

Tout au long des 5 études, il nous faut cependant signaler que ce sont les designers en conception navale qui font le plus usage des symboles dans leurs dessins. Ceci est sans aucun doute lié au type de produit conçu : les bateaux et navires, dans leurs formes et leurs fonctions, s'approchent beaucoup plus d'une habitation que d'un objet industrialisé. S'organisant en différents ponts (différents «niveaux») dont seul le profil varie (en fonction de la courbe de la coque), ces «bâtiments» accueillent zones de vie, de repos ou encore zones techniques au même titre qu'une construction terrienne. On retrouve donc énormément de codes symboliques et graphiques architecturaux dans les dessins de conception préliminaire d'un bateau. En ce qui concerne le mode d'externalisation, on retrouve également de ce fait une large proportion de dessins en plan et coupe, les croquis en perspective étant plutôt utilisés pour définir l'aspect formel extérieur de la coque du yacht (la «ligne de coque»). Les modélisations 3D sont également convoquées très tôt durant le processus de conception préliminaire afin d'évaluer et valider cette ligne de coque et ensuite en définir les différents composants (qui ont un impact direct sur le profil final et l'espace utile pour l'aménagement intérieur).

La capture des principes de transferts et ré-appropriation nous apprend que l'essence communicable, ou key feature du dessin telle que perçue dans les études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO est bien identique aux principes graphiques récurrents de ANOTO, également repérés dans TRAGERE. Les indices consciemment communiqués en modalité collaborative sont donc également ceux que l'on peut trouver au sein d'une esquisse à caractère purement personnel, au travers de la conversation réflexive que le concepteur entretient avec son propre travail. Un des sujets, au cours d'un entretien, confirme cette concordance. Il dit à ce sujet que [cette correspondance] *«n'est rien d'autre que de l'hygiène intellectuelle»*. Ces indices pourraient constituer de ce fait la base saine de capture de l'information pour le système d'assistance dédié au design industriel.

Enfin, les données issues de TRAGERE confirment la distinction entre les deux grands types de conception repérés dans PRO\_DUO : à l'externalisation d'une image mentale forte correspond des principes graphiques différents qu'à une dynamique de conversation réflexive, construite sur une externalisation progressive de traits qui se nourrissent l'un l'autre<sup>14</sup>. Cette confirmation se réalise à deux niveaux. Tout d'abord à un niveau inter-personnel, pendant la phase de conception, en comparant certains designers qui développent effectivement une conception par idéation mentale et d'autres qui la développent plutôt par conversation. Ensuite, à un niveau intra-personnel, en comparant pour chaque designer :

- la production issue de la phase d'acclimatation à l'interface, où ils génèrent le plus souvent des formes géométriques simples ou des objets connus, générations qui correspondent donc à l'externalisation d'images mentales ;

---

14 Nous ne nous permettons pas, dans le cas de TRAGERE, d'évaluer le caractère novateur ou routinier des processus de conception observés. Nous ne disposons en effet pas des informations suffisantes pour positionner les projets proposés, courts et fictifs, au sein des pratiques de chaque designer industriel.



- la production directement consécutive à la phase de récupération et perception (globale puis par zones) du dessin du designer D0 : certains designers D1 se contentent à ce niveau de recopier les traits de leur prédécesseur (par mimétisme ou transparence). Ces traits - graphiquement particuliers - deviennent ensuite la structure de départ pour un des deux principes de conception ;
- et la production correspondant ensuite à la phase de conception «pure».

Au delà de cette distinction se construit la taxonomie des traits : à chaque mode de conception correspond différents types de traits, différentes techniques de construction, différents «cycles» ou successions de traits particuliers (qui varient également avec l'expertise et l'aisance à dessiner), toutes ces caractéristiques constituant autant d'indices pour la mise au point d'un système d'assistance.

## 5. Expérimentations ciblées en laboratoire FORMA\_V - Représentations et formalisme visuel

La question du formalisme visuel a été abordée ci ou là au long des pages précédentes : l'étude ANOTO souligne quelques spécificités des modèles esquissés vis-à-vis des modèles détaillés, visuellement pourtant quasi identiques, tandis que l'impact de la modélisation précoce sur le client et ses attentes est abordé dans PRO\_DUO (client absent) et dans ANOTO (client présent mais acquis).

La cinquième et dernière expérimentation, FORMA\_V, approfondit l'examen de notre sixième thématique d'étude, soit les représentations graphiques externes et leurs pertinences. Elle interroge plus particulièrement l'impact qu'ont, sur les concepteurs, les formalismes imposés aujourd'hui par les outils de Conception Assistée par Ordinateur (figure 64). Nous tentons ainsi de dépasser le manque de consensus relevé dans la littérature et de répondre à quelques unes des questions ouvertes présentées dans les sections 4.4 et 4.5 du chapitre 2.

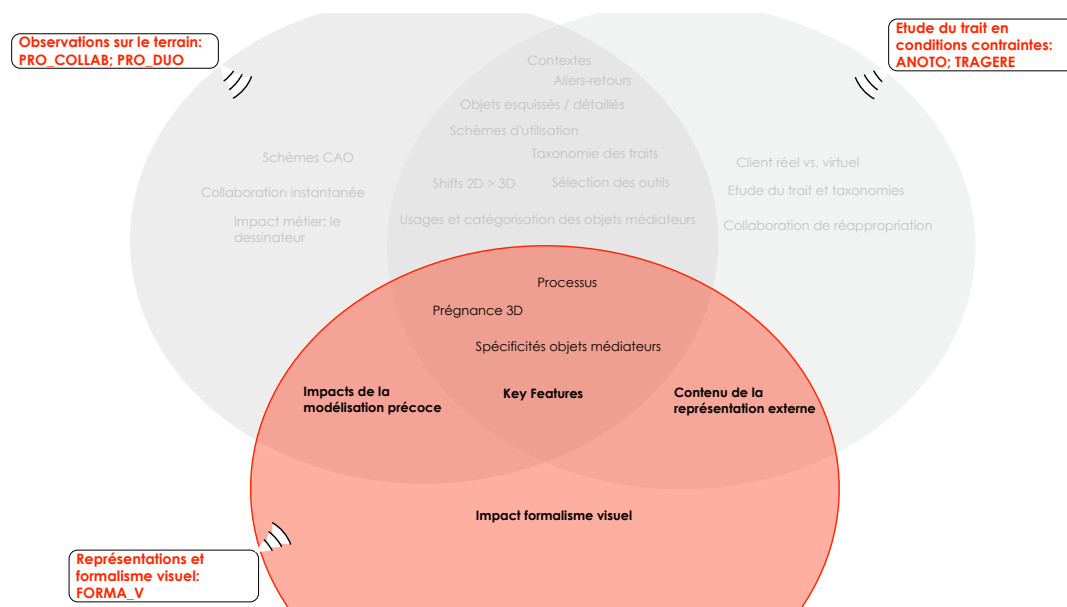


Fig. 64 - Les thématiques d'intérêt révélées par l'expérimentation FORMA\_V.

5.1. Présentation du contexte et de l'équipe, objet de l'expérimentation, méthodologie et recueil des données.

FORMA\_V sollicite les 13 mêmes sujets que l'expérimentation TRAGERE. Pour rappel, ils sont issus de secteurs de la conception variés et ont des niveaux d'expertise différents ; ils sont pourtant tous confrontés quotidiennement aux images que leur renvoient les logiciels de conception de leurs produits.

A la suite de l'expérimentation TRAGERE et en quelques minutes, il est demandé aux sujets de comparer 5 représentations du même objet mais présentant des formalismes et des degrés de finition différents (figure 65). La première représentation présente un modèle nu (sans textures ni source de lumière particulière) auquel il a été ajouté un look «sketchy» (tel que présenté dans l'état de l'art sur les représentations externes). La seconde représentation constitue le modèle dit «maquette en blanc» dans sa forme la plus pure : aucun effet ne vient perturber la perception des volumes créés, le filtre «sketchy» de floutage des arêtes n'apparaît plus. Au troisième modèle ont été ajoutées quelques couleurs choisies aléatoirement, sans lien particulier avec le contexte. La quatrième représentation figure elle quelques textures et une source diffuse de lumière qui lui donnent un caractère que l'on peut qualifier de «photo-réaliste primaire». Celui-ci est peaufiné dans la cinquième et dernière représentation, elle totalement photo-réaliste (les textures sont identiques mais une source locale de lumière, des effets de transparence et des ombrages sont ajoutés).

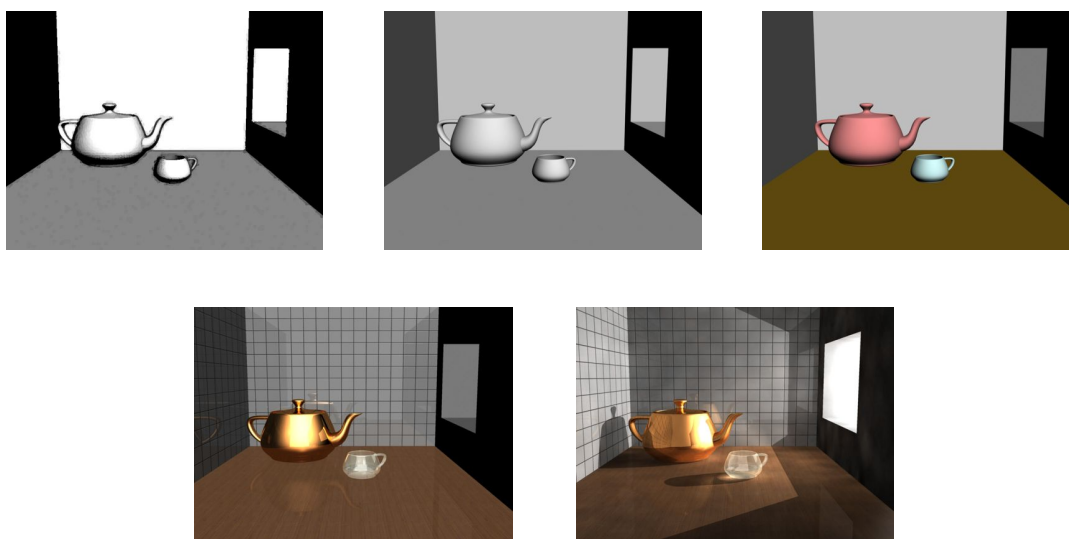


Fig. 65 - De gauche à droite, ligne par ligne, les représentations numérotées 1 à 5.

Les cinq plaquettes sont présentées sans ordre particulier aux 13 sujets et, au travers d'une verbalisation plus ou moins dirigée (avec l'aide de toutes ou quelques-unes des questions de la figure 66), nous tentons de capturer la façon dont elles sont perçues et leurs pertinences au sein d'un processus de conception.

Voici cinq représentations du même objet.

Quelles sont selon vous les différences entre ces représentations ?  
 Peuvent-elles, à vos yeux, remplir des fonctions différentes ?  
 Classez les représentations de la plus intéressante à la moins intéressante.  
 Pourquoi ?  
 Quelles sont les qualités respectives de ces représentations ?  
 Quelles informations portent-elles respectivement ?  
 Quelles représentations utiliseriez vous et dans quel contexte ?

Fig. 66 - Quelques relances dynamisent la verbalisation de la perception des 5 plaquettes.

## 5.2. Spécificités, variants / invariants

La figure 67 présente un résumé des données recueillies au cours de ces 13 conversations. Les votes positifs recensent tous les designers qui trouvent le type de représentation un tant soit peu utile (ou respectivement inutile pour les votes négatifs), les principaux commentaires qui justifient ces qualités étant résumés dans la dernière colonne. Nous avons considéré, quand les designers ne faisaient aucun commentaire à propos d'une représentation, qu'elle n'avait aucun intérêt particulier à leurs yeux et qu'elle ne recevait donc ni un vote positif ni négatif.

N° et type de la représentation	Nombre de «votes positifs» ( /13)	Nombre de «votes négatifs» ( /13)	Qualités
1 - Look Sketchy	1	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>* «bruit» visuel inutile</li> <li>* imitation, fait «mauvais genre» (consensus)</li> <li>* pas du tout utile ni intéressant</li> <li>* pourrait être utile pour attirer le client</li> </ul>
2 - Maquette pure, «en blanc»	4	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>* très efficace pour communiquer avec ingénieurs</li> <li>* va «droit au but», efficace pour la sélection du principe (consensus)</li> <li>* proche du rendu habituellement utilisé en modélisation</li> </ul>
3 - Maquette couleur	6		<ul style="list-style-type: none"> <li>* ajout d'une information sans influence subjective</li> <li>* utile pour distinguer des pièces pendant la modélisation</li> </ul>
4 - Photo-réaliste primaire		4	<ul style="list-style-type: none"> <li>* pas «honnête»</li> </ul>
5 - Photo-réaliste source diffuse + locale	11	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>* utile au marketing et à la communication externe uniquement (consensus)</li> <li>* inutile pour conception (consensus)</li> <li>* trompeur</li> <li>* utile pour évaluer impact de la lumière sur une surface (qualité d'un mesh, d'un passage de forme)</li> </ul>

Fig. 67 - Scanning des résultats des 13 verbalisations.

Un premier consensus apparaît en ce qui concerne la représentation au look «sketchy» : elle ne semble pas être particulièrement pertinente, à aucun moment de la conception, les designers ajoutant que cette tentative d'imiter les caractéristiques du dessin à main levée fait «mauvais genre». Nous avons vu, à la section 4.5 du chapitre 2, que certains auteurs considèrent les représentations «sketchy» comme visuellement proches d'un mouvement de dessin plus fluide, ce qui les rendrait plus aptes à soutenir les phases préliminaires de la conception. Les quelques résultats préliminaires recueillis via FORMA\_V tendent cependant concorder plutôt avec le point de vue de Dorta et Pérez (2006), qui considèrent ce type de formalisme comme totalement inutile. Rappelons que ce filtre «sketchy» ne doit pas être confondu avec une représentation fidèle d'un dessin à main levée, qui traduit pour chaque dessinateur un «coup de patte» particulier.

La maquette en blanc, elle, semble soutenir plus efficacement tant les processus individuels que collaboratifs. Le modèle photo-réaliste primaire est le seul à ne récolter aucun avis positif, certains designers allant jusqu'à remettre en question son honnêteté, ce qui nous renvoie à la notion de «falsification» des représentations étudiée par certains auteurs. La dernière représentation provoque chez tous les designers des

réactions tranchées : le photo-réalisme, s'il est aujourd'hui un outil indispensable à la communication avec des clients ou des services externes (tous les designers s'accordant à dire qu'ils ne font pratiquement plus jamais appel au dessin dans ces contextes) est cependant considéré comme totalement inopportun durant la conception préliminaire.

En réponse aux questions ouvertes à la section 4.6 du chapitre deux, nous pouvons donc avancer que le modèle 3D (statique ou dynamique) et son formalisme sont donc des outils de communication incontournables mais qui sont systématiquement exploités, en conception préliminaire, dans leur essence simplifiée et congruente.

## 6. Méthodologie de traitement des données

Les résultats présentés ci-dessus résultent principalement d'une pré-analyse qualitative de l'ensemble des données, première lecture rapide et transversale qui nous permet de capturer les principales pistes dont il nous faut ensuite approfondir l'étude.

Les deux sections suivantes présentent d'une part les grilles de codage, construites pour systématiser l'analyse des données des quatre premières études (les données de l'expérimentation `FORMA_V` n'étant soumises qu'à un bref recensement présenté plus haut) et d'autre part les traitements qualitatifs et quantitatifs appliqués à ces données une fois codées.

Pour rappel, les principales questions de recherche sont opérationnalisées en six thématiques qui nourrissent la mise au point du codage :

- les processus de conception préliminaire (individuels ou collaboratifs) ;
- les impacts du contexte «métier» ;
- les usages des objets médiateurs (dessin à main levée ; logiciels de Conception Assistée par Ordinateur ; représentations externes résultantes) en conception individuelle ou collaborative ;
- les spécificités des objets médiateurs (potentiels ; limitations) et leurs pertinences ;
- les mécanismes de transition entre représentations 2D et 3D d'un objet ;
- la structuration et le contenu des représentations externes générées (unité graphique ; formalisme) et leurs pertinences.

Plus particulièrement, la systématisation de l'analyse qualitative et le traitement quantitatif de certaines données nous permettent également :

- d'entrer plus finement dans l'étude du trait et d'évaluer le caractère symbolique/sémantique/graphique du dessin ;
- d'évaluer le caractère «esquissé», «technique» et «détaillé» des représentations externes générées ;
- d'évaluer la prégnance de la perspective, de la cristallisation, de l'annotation, des primitives récurrentes ;

- d'étudier les liens entre représentations 2D et 3D d'un même objet (en termes de support et de type d'externalisation) et d'examiner les mécanismes de cette transformation ;
- de tracer les allers-retours entre différents objets médiateurs ;
- de tracer les phénomènes de transfert et réappropriation entre designers.

#### 6.1. Pré-traitement qualitatif et codage des données

Les données recueillies sont de plusieurs types : bandes-son des entretiens, traces (photos, scans, vidéos, captures d'écran, croquis dessinés au moment même pour les besoins de la verbalisation) et prises de note instantanées pour toutes les sessions de recueil *in situ* (entretiens, réunions et débriefings, observations). Les notes, principalement, ont permis de définir les premiers repères utiles à la mise au point des grilles de codage.

L'ensemble des données (in situ ou traces récupérées a posteriori) est ensuite traité de façon itérative, avec en premier lieu une analyse qualitative globale du verbatim. Cette approche qualitative des processus nous paraît indispensable à la capture et l'analyse de ce que Brassac et Grégori appellent les «sauts» de la conception (Brassac & Gregori, 2003). Ces auteurs, dans une étude sur les irréversibilités des processus, démontrent en effet l'intérêt de certains instants («sauts») de conception, isolés et très courts, porteurs d'une signification primordiale pour la compréhension du processus et qui seraient négligés et mis au second plan au travers d'une analyse exclusivement quantitative.

L'analyse qualitative, surtout en ergonomie cognitive, peut prendre différents niveaux de granulométrie. En ce qui concerne notre projet de recherche, la retranscription complète au mot à mot est jugée superflue (sous le contrôle et le conseil d'un expert du logiciel d'analyse de contenu verbal TROPES® de l'Université de Liège, Faculté des Sciences de l'Education). Les informations que les concepteurs sont effectivement capables de verbaliser sont a priori facilement détectables et il n'est pas non plus nécessaire d'analyser en profondeur les fréquences d'apparition de termes, les hésitations et inflexions de voix pour tirer des bandes son le contenu attendu.

Cette analyse, mise en oeuvre pour tous les entretiens, leurs analyses rétrospectives ainsi que pour toutes les bandes vidéos récupérées (toutes études confondues, avec pour PRO\_COLLAB un traitement supplémentaire en lignes du temps), se construit ainsi sur plusieurs écoutes en phrase par phrase et en plusieurs visionnages en événement par événement. Ces itérations sont nécessaires ; en plus d'affiner l'analyse qualitative, elles participent à la définition des variables de codage et de leurs valeurs pour l'approche quantitative.

La grille globale<sup>15</sup> de codage est composée de maximum 48 variables (avec, pour chacune, entre 2 et 10 valeurs) qui sont exploitées en tout ou en partie pour chacune des 4 premières études (pas de codage particulier pour l'expérimentation FORMA\_V). Si l'on considère que, globalement, les études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO représentent un panorama large et écologique de la conception en design industriel, il n'en est pas de même pour les études ANOTO et TRAGERE. Ces deux dernières, de par leur protocole plus restrictif, limitent par exemple la libre utilisation de n'importe quel objet médiateur ainsi que l'accès aux ressources extérieures (documents de référence habituellement présents sur le lieu de travail ; collaborateurs). De plus, la méthodologie de recueil des données graphiques de PRO\_COLLAB et PRO\_DUO (caméras positionnées en plongée) n'autorisent pas une analyse des traits aussi fine que celle réalisée pour ANOTO (via le logiciel de visualisation des traits «Anoto®») et TRAGERE (via le déroulé de la capture d'écran dynamique). Il n'est donc pas opportun de réaliser des codages et recensements identiques : les biais liés aux conditions des expérimentations seraient trop importants.

Afin de figurer clairement les différents codages appliqués à chacune des études, nous répartissons ici les données de la grille globale en 6 tableaux à double entrée (voir par exemple la figure 68), avec :

- en abscisse supérieure, la thématique traitée ;
- en ordonnée gauche, la description en quelques mots de la thématique, suivie des variables et leurs valeurs, puis de l'énumération des 4 études ;
- et enfin, en abscisse inférieure, l'indice d'applicabilité de la variable et ses valeurs à l'étude directement visée.

Chacun de ces tableaux va être systématiquement et exhaustivement passé en revue ci-dessous, pour assurer la reproductibilité des codages effectués.

Il est délibérément décidé de ne pas coder l'ensemble des détails d'un contexte, ou le moindre trait d'un dessin. Etant donné la richesse des données, nous risquerions effectivement de perdre la piste de nos principaux centres d'intérêt, à savoir l'étude des usages des objets médiateurs et des pratiques métier pour la mise au point d'un outil d'assistance. Nous optons plutôt pour une méthode de codage sélectif, enrichi de «memoing» - ou prise de note constante, tout au long du processus de traitement des données, de toute idée susceptible d'enrichir le projet de recherche (le lecteur intéressé pourra trouver plus de détails dans (Birks, Chapman, & Francis, 2008)).

Notre découpage en actions est avant tout orienté «contenu» et «process». En termes de «contenu», notre méthode se rapproche de celle de Achten (2005), qui définit les «graphic units» comme «*a specified set of graphic entities and their appearance that has generally accepted meaning within the design community*» (p.3). Ses unités graphiques regroupent d'une part les éléments qui structurent et organisent la représentation (axes, grilles, primitives de structure,...) et d'autre part des éléments

---

<sup>15</sup> Dont nous ne présentons ici que la version finalisée (la grille étant elle-même issue d'un processus de définition itératif)

descriptifs de la représentation en elle-même. Et lorsque les activités ne sont pas relatives à des entités graphiques mais plutôt à du «process», nous utilisons un découpage en action proche de celui proposé par Robillard, d'Astous, Détienne et Visser (1998). Nous définissons donc une nouvelle action à chaque fois que le sujet change d'outil, de style de représentation (en passant du flou au cristallisé par exemple), de feuille ou de zone de travail sur la feuille (physique ou numérique), ou encore lorsqu'il interagit avec une autre source d'information (un collaborateur, des documents de référence,...). Ce découpage s'éloigne de certaines méthodes longtemps appliquées (telle que la méthode AGA de découpage pour chaque pause de plus d'une seconde (Scrivener & Palmen, 1991)), qui nous semblent trop «robotisées» que pour pouvoir capter les subtilités et complexités d'un processus de conception.

Le premier des six tableaux s'attèle à décrire les «*quand - qui - quoi*» de l'action (figure 68). D'une manière générale, nous ne recensons pas la durée des actions. Cette donnée n'a, en conception, que peu de sens - et encore moins lorsque l'on s'inscrit dans les contextes réels du travail (à tout moment l'acte observé peut être interrompu par un événement extérieur). Nous répertorions cependant les occurrences de façon chronologique et temporelle pour PRO\_COLLAB et PRO\_DUO et de façon chronologique et numérique pour ANOTO et TRAGERE. L'examen des contextes collaboratifs et écologiques des deux premières études tire effectivement profit d'une capture du temps qui passe, qui permet de positionner les unes par rapport aux autres des actions qui peuvent se dérouler en parallèle ou en série. L'analyse des traces outillée par les deux dernières études se contente, elle, d'une simple énumération des actions. Dans l'étude ANOTO, où le designer propose plusieurs variantes sur une seule page, nous veillons de plus à coder les éventuels passages d'un croquis à un autre.

De même, les contextes collaboratifs des deux premières études requièrent un recensement des acteurs en présence. L'acteur principal de l'action est repéré d'après deux facteurs : son expertise dans le secteur du design industriel et son aisance à exploiter le(s) objet(s) médiateur(s) concerné(s)<sup>16</sup>. Cette variable n'est pas exploitée dans ANOTO et TRAGERE puisque les acteurs sont connus d'avance<sup>17</sup>.

Enfin, nous décrivons l'action écologique en empruntant à Goldschmidt (1997) son principe de *linkography* : il s'agit de décrire l'action en elle-même (en répondant à la question : «quoi ?» ou «pour quoi faire ?») ainsi que les contraintes extérieures qui justifient le recours à certains objets ou individus, mais aussi et surtout de coder les liens que cette action entretient avec les occurrences précédente et suivante (avant - déclencheur ; après - conséquence). Cette *linkography* est généralement nourrie par les éléments du contexte, plus rarement capturés durant les deux dernières études. Cette description en quelques mots clés systématise l'analyse qualitative de l'occurrence et nous permet de tracer les décisions (capture du *design rationale*), de mieux comprendre

---

16 Ces «niveaux» d'expertise étant fixés à l'avance (principalement suite aux entretiens) et sur une base comparative.

17 En effet, les données recueillies durant les réunions de l'étude «Anoto» n'ont fait l'objet que d'un traitement qualitatif (et sans codage particulier).



ce qui motive les transferts d'un objet médiateur à un autre et enfin de capturer les principes de leur sélection.

CODAGE 1								
Thématique traitée	Traitement des occurrences		Sujet Acteur principal		Description de l'action			
Description	Recensement des occurrences et quantification (en durée ou en nombre)		Recensement des sujets acteurs principaux (expertise et non ancienneté)		Description de l'action (déroulement, objectifs) pour approche qualitative et capture des intentions (design rationale)			
Variables	Chronologique	Numérique	Expertise en design industriel	Expertise en manipulation de l'objet médiateur	Avant (déclencheur)	Pour quoi faire ?	Contrainte	Après (conséquence)
Valeurs	T0 initial, T1 final	N°	Haute, Faible	Haute, Faible				
PRO_COLLAB	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PRO_DUO	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ANOTO	-	✓	-	-	-	✓	✓	-
TRAGERE	-	✓	-	-	-	✓	✓	-

Fig. 68 - Codage 1 : description en «quand - qui - quoi» des actions codées.

Le tableau suivant rassemble tous les codages propres à la description de l'objet médiateur (figure 69). Nous nous intéressons tout d'abord au type de support exploité, afin de tracer d'éventuelles régularités. Ce support peut tant être l'outil exploité que le support de la représentation (papier, numérique, physique) ; le codage n'est pas effectué pour ANOTO et TRAGERE où les objets médiateurs sont fixés d'avance.

Nous nous inspirons ensuite des terminologies proposées par Schenk pour la définition d'une taxonomie d'objectifs soutenus par l'objet médiateur exploité (Schenk, 2007). Le codage s'effectue partiellement à partir de nos propres connaissances, mais est également largement nourri des verbalisations des sujets et des éléments des contextes (non disponibles pour ANOTO). Nous tentons par là de positionner le «pour quoi faire» à un niveau plus micro, celui de l'usage de l'objet médiateur aux différentes phases du processus de conception.

La capture des mécanismes de sélection des objets médiateurs se fait au travers des key features (en situations écologiques uniquement - les seules où l'accès aux objets soit totalement libre). Nous tentons de comprendre lequel des traits distinctifs des outils ou représentations justifie le plus probablement leur sélection. Cette approche compréhensive de la cause de la sélection se fait toujours en rapport avec l'input, ou type d'externalisation/de support utilisé.

L'input est également détaillé via huit autres valeurs, inspirées des travaux de Cross, Christiaans et Dorst (1996). Les valeurs [esquissé/détaillé] et [formel/technologique] outillent l'étude du niveau de formalisme et de contenu. Elles nous permettent de tester nos hypothèses de non-dichotomie et allers-retours entre différentes qualités des objets médiateurs (voir section 6.2 du chapitre 2). Les valeurs [global/composant] et [complet/incomplet] évaluent, à un niveau méta, à partir de quel instant de la conception un objet contiendrait hypothétiquement une information suffisamment complète que pour être capturé et compris par un observateur totalement étranger au projet en cours.

CODAGE 2										
Thématique traitée	Support de la conception	Objet médiateur				INPUT				
Description		Description objet médiateur, objectif et key-feature justifiant sa sélection								
Variables	Outil, Représentation	Objectif	Key feature outil	Key feature repr.	Type de représentation	Type de représentation		Degré de finition graphique		
Valeurs	* Dessin, * Outil CAO, * Prototype	* Conception, * Production, * Modification, * Communication * Question, * Itération, * Cristallisation, * Pense-bête, * Collection de références visuelles, * Comparaison			* Coupe, * Elévation, * Perspective, * Fond de Plan, * 3D (perspective ou numérique), * Annotation, * Tag, * Schéma, * Calcul	* Esquissé * Détaillé	* Formel, * Technologique	* Global, * Composant	* Complet * Incomplet	
PRO_COLLAB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
PRO_DUO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
ANOTO	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	
TRAGERE	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	

Fig. 69 - Codage 2 : principales caractéristiques de l'objet médiateur.

Si l'approche cognitive du processus de conception n'est pas en soi un de nos objectifs, ce point de vue peut cependant nourrir notre compréhension des mécanismes d'usage des objets médiateurs. Nous décidons en conséquence de coder très rapidement quatre variables, traditionnellement inscrites dans une étude ergonomique des processus cognitifs (figure 74).

La première consiste très simplement à tracer, en environnement écologique (uniquement pour PRO\_COLLAB et PRO\_DUO donc), l'ensemble des ressources extérieures utilisées.

La seconde tente de positionner l'occurrence observée dans une des quatre grandes phases de la conception (génération, évaluation, validation, itération<sup>18</sup>), résumant ainsi différents points de vue présentés dans la revue de la littérature. Ce codage se nourrit essentiellement, à nouveau, des éléments des contextes et du verbatim des sujets (indisponibles pour ANOTO).

Nous codons ensuite la sémantique de la représentation générée : appuie-t-elle une recherche purement formelle et esthétique ; fonctionnelle ou ergonomique (d'adaptation aux mesures anthropométriques) ? Ou bien son contenu évoque-t-il la mise au point d'un assemblage, d'une technique de montage, d'un dimensionnement ? Peut-on associer à certains codes graphiques une sémantique propre récurrente ?

La quatrième variable code, lorsque le contexte le permet, la nature des transformations (cf. (Goel, 1995)). La capture des mouvements latéraux et verticaux de la conception affine l'examen des transferts d'un type de représentation à un autre et nous permet d'étudier l'éventualité d'un travail en couches distinctes. Le codage des transformations n'est pas toujours aisé, surtout pour plusieurs variantes d'un même objet : certaines transformations sont verticales (le sujet détaille de plus en plus plusieurs variantes en parallèle), d'autres sont par contre latérales (un saut conceptuel

18 l'itération inclut, d'après nous, un cycle de contrôle et d'évaluation des concepts qui se traduit rapidement par une modification ou par la génération d'une nouvelle idée.

important apparaît entre plusieurs variantes pourtant relatives au même projet). En cas de doute, l'abstention s'impose.

Les modèles sous-jacents aux représentations externes sont ensuite examinés. Le premier codage, directement inspiré des travaux de Rasmussen, nourrit l'examen du formalisme visuel et des degrés d'abstraction. Nous modifions cependant légèrement les cinq niveaux d'abstraction proposés par l'auteur pour les adapter aux spécificités du design industriel :

- le niveau «intention» est à comparer au concept de «parti architectural», ou d'idée dominante et structurante du processus de conception, dont on trouvera une passionnante discussion dans Heylighen et Martin (2004). Ce niveau peut se traduire par des schémas d'intention par exemple (figure 70).



Fig. 70 - Schéma d'intention chez Anoto.

- le niveau «fonction généralisée» figure toute intention d'organisation générale des différents concepts de l'objet en un tout cohérent. Il se traduit par des schémas fonctionnels, des graphes topologiques, des simulations d'utilisation etc. (voir un exemple en figure 71).

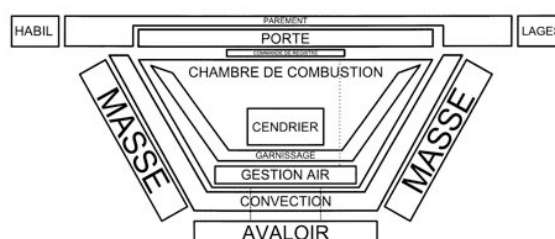


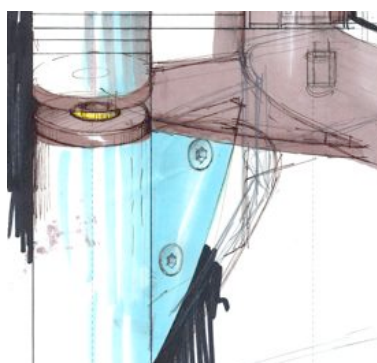
Fig. 71- Graphe topologique pour la conception d'un corps de chauffe.

- le niveau «caractéristique physique» concerne des décisions pratiques qui se traduisent par la sélection d'une variante physique externalisée. L'externalisation se précise, une proposition naît.



*Fig. 72 - Génération d'une variante physique.*

- le niveau «spécification» traduit, enfin, la mise en oeuvre de données précises relatives au dimensionnement, à la technique de production, aux matériaux et à leur mise en oeuvre, ...



*Fig. 73 - Croquis technique pour la spécification du mécanisme d'ouverture de porte.*

Ce codage est appliqué à toutes les études, y compris TRAGERE. Si l'investigation de la key feature nécessitait de se détacher un maximum de l'étude des niveaux d'abstraction, nous y revenons cependant à ce stade : les dessins proposés par les sujets s'inscrivent immanquablement dans une évolution des concepts dont l'étude peut contribuer à la mise au point du système d'assistance.

Ce codage se complète efficacement de la proposition de Leplat (2000) : en complément du niveau d'abstraction atteint par la représentation, il est également intéressant d'examiner l'intention poursuivie via son usage. Sert-elle simplement à figurer des concepts et peut-être ainsi pouvoir les comparer ? Ou bien traduit-elle la nécessité immédiate de prendre une décision opérationnelle ? Elle peut également nourrir la déclaration d'une intention, ou bien encore la mise au point d'une procédure.

Dans le contexte des études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO, nous traitons également la qualité visuelle de la «maquette du projet» (papier ou numérique). Observant que l'interaction avec cette externalisation ne se limite pas au seul visuel, nous nous intéressons enfin aux différents niveaux de l'interaction physique qui peuvent intervenir.

CODAGE 3								
Thématique traitée	Processus Cognitif				Modèle Visuel			Modèle sous-jacent
Description	Capture du processus cognitif supporté par l'objet médiateur				Caractéristiques du formalisme visuel, du degré d'abstraction et de l'interaction			Modélisation du "type d'action" supporté par l'objet médiateur
Variables	Ressources Utilisées	Phase de travail	Sémantique sous-jacente	Transfo.	Niveau d'abstraction	Visuel Maquette	Interaction	
Valeurs	* Docs de référence, * Cahier des Charges, * Anciens Projets (analogies), * Collaboration	* Génération, * Evaluation, * Validation, * Itération	* Esthétique, * Ergonomique, * Fonctionnalité, * Assemblage, * Montage, * Techniques Autres, * Dimensionnement	* Latérale * Verticale	* Intention, * Fonction Généralisée, * Caractéristique physique, * Spécification	* Blanche, * Couleur, * Photo-réaliste	* Gestuel 3D, * Interaction Feuille, * Visuelle	* Figuratif, * Opératif, * Déclaratif, * Procédural
PRO_COLLAB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PRO_DUO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ANOTO	-	-	✓	-	✓	-	-	✓
TRAGERE	-	✓	✓	✓	✓	-	-	✓

Fig. 74 - Codage 3 : capture de la phase cognitive et des modèles sous-jacents

Le quatrième tableau rassemble les codages relatifs à l'analyse de la trace graphique (physique ou numérique, figure 76). Les traits, qu'ils soient dessinés sur papier, sur tablette ou tirés à l'écran, font l'objet d'un intérêt tout particulier : leurs codages nous permettent de définir une taxonomie et de déterminer les types de traits et les caractéristiques graphiques les plus fréquemment exploités. Nous n'effectuons pas un codage en trait par trait systématique : une analyse à une telle échelle microscopique relève plus de la démarche des *computer graphics* que de la recherche en ingénierie de conception. Nous renvoyons les lecteurs intéressés par une approche granulométrique des traits et de leurs positionnements géométriques à la section 5.2 de l'état de l'art (étape 1 des Sketch Based Interfaces for Modeling) ou à la revue complète de la question effectuée par Juchmes (2005).

Nous optons dès lors plutôt pour un travail en zonage, ou groupes de traits (et parfois, lorsque cela se justifie, en trait par trait), unités cohérentes qui présentent une signification visuelle géométrique, symbolique ou sémantique nécessaire et suffisante à notre granulométrie d'analyse.

Cette codage des traits se décompose en trois grandes variables. La première est la qualité de key feature de l'unité : les traits peuvent-ils être assimilés à une courbe principale, élément graphique d'importance pour l'ensemble de la représentation ? Ces courbes, si l'on peut s'attendre à ce qu'elles se traduisent le plus souvent par des arêtes vives et/ou cristallisées, peuvent également consister en un arrondi de profil ou en une ligne de force, ici très finement exécutée (voir figure 75). Nous les codons plutôt comme telles lorsqu'elles se propagent tout au long du processus et jouent, du début à la fin, un rôle important pour la compréhension et la reconstruction de l'objet (au contraire des courbes secondaires, qui disparaissent en cours de processus et ne structurent pas stratégiquement ni volumétriquement la représentation). La capture de ces courbes nous permet de mieux comprendre l'évolution d'un objet lors des transitions 2D > 3D de ses représentations.



Fig. 75 - Le trait, à peine visible, d'une ligne de force définissant à lui seul la courbure de la pièce.

La seconde variable évalue la caractéristique graphique du trait : le trait peut être flou, répété (plusieurs traits flous se superposent sans hiérarchie particulière, dans un processus d'overtracing) ou cristallisé (plusieurs traits se superposent mais présentent une gradation dans leur épaisseur qui figure une accentuation). L'expérimentation TRAGERE fait apparaître un type de trait supplémentaire : le trait «léger». Si le trait flou incarne la recherche conceptuelle ou l'hésitation graphique, le trait léger, lui, figure simplement un élément structurel du dessin. Le trait (ou groupe de traits) peut aussi constituer une annotation, on le code alors comme «alpha numérique».

La troisième variable évalue la manière dont les traits se connectent pour former des entités plus importantes. Il s'agit dans ce cas de détecter certaines «techniques» et principes graphiques qui nourrissent la taxonomie des types de dessins.

Plus spécifiquement, nous codons ensuite le caractère «fermé/ouvert» de certains contours pour lesquels nous disposons de suffisamment d'information. Nous codons également le type de trait sélectionné par l'utilisateur du stylo Anoto® (différentes épaisseurs et couleurs peuvent être numériquement sélectionnées) et enfin nous conservons en mémoire, pour TRAGERE, le type de mine utilisé, le calque courant et les fréquences d'utilisation de la gomme.

Enfin, la dernière variable capture la méthode de modélisation et est propre aux études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO pour lesquelles les outils de CAO sont effectivement à disposition.

CODAGE 4								
Thématique traitée	Taxonomie des traits							CAO
Description	Capture des caractéristiques des traits							
Variables	Trait ou groupe de traits	Courbe Principale	Trait	Traits forment	Contours	Type de trait "Anoto®"	Fonctionnalités Tragerere	Méthode de modélisation
Valeurs	N°	Oui, Non	* Flou, * Répété, * Cristallisé, * Alpha-numérique	* Axe Structurel, * Primitive géométrique (formelle ou de structure), * Forme quelconque, * Symbole, * Matière et Texture, * Ombres	* Fermés, * Ouverts	* Fin, * Epais, * Coloré	* Type de mine, * gomme, * calque n°	* Box Modeling * Mesh, * Extrusion, * Paramètres
PRO_COLLAB	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓
PRO_DUO	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓
ANOTO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
TRAGERE	✓	✓	✓ + Léger	✓	✓	-	✓	-

Fig. 76 - Codage 4 : taxonomies de l'unité graphique et méthode de modélisation.

L'avant-dernier tableau (figure 77) investigate principalement deux thématiques : le schème d'utilisation des objets médiateurs et les modalités collaboratives (et leur impact sur l'utilisation des objets).

L'examen du schème d'utilisation (cf. section 1.6.3 de l'état de l'art) outille *in fine* l'étude des *misuses* ou déviations d'usage. La première étape du codage vise donc à capturer les différents états que peut prendre l'usage : est-il naturel (correspond-t-il à l'usage tel qu'initialement conçu, ou socialement adopté), sommes nous face à une catachrèse (un usage emprunté à un objet et adapté à un autre), ou bien face à un *misuse* (un usage totalement inattendu, [accidentellement] généré par un concepteur s'adaptant à une situation complexe) ? Si nous avons été attentif à ces usages tout au long des 4 études, nous n'avons cependant pu observer des usages déviés qu'au cours de PRO\_COLLAB et PRO\_DUO.

A chaque usage correspond un mode de pensée (2D, 3D ou programmation), dont la dimension peut ou non correspondre à celle de l'externalisation utilisée (cf. section 4.3 chapitre 2). Un codage tente de capturer ce mode, de façon à mieux comprendre les transitions entre types de représentations qui font l'objet du dernier groupe de codage. Le sujet prend-t-il toujours la peine de choisir l'objet médiateur le plus adapté à sa tâche ? Il est parfois complexe de déceler les modes de pensée (les verbalisations spontanées n'atteignant pas ce niveau de détail) et c'est souvent grâce aux gestes que l'on a pu les inférer (voir à ce sujet le papier (Darses, Mayeur, Elsen, & Leclercq, 2008)).

Au delà des causes de la sélection des objets médiateurs (voir key features des outils et représentations, figure 69), le codage suivant tente de capturer les qualités de l'objet médiateur qui sont effectivement exploitées au cours de l'action : à quoi l'objet a-t-il été a posteriori le plus utile ? Notons au passage que la notion de transparence qui apparaît durant l'expérimentation TRAGERE est liée à la fonctionnalité de gestion de l'opacité des calques.

La capture de certains principes fondateurs de la représentation (symétrie, cinématique, présence d'un environnement pré-existant, ...) participe ensuite à l'éventuelle qualification des modèles dits «esquissés», «techniques» ou «détaillés».

Les études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO<sup>19</sup> et leurs contextes professionnels nous ont ensuite permis de mieux comprendre comment les objets médiateurs peuvent (in) efficacement soutenir les tâches collaboratives de conception et comment le trait, dans de tels contextes, peut prendre ce caractère «communicable» décisif. Nous codons le profil du ou des interlocuteur(s) en relation avec l'acteur principal ; la modalité du transfert d'information (verbale uniquement, ou via la désignation, l'action sur le support ?) ainsi que le type de collaboration<sup>20</sup>.

---

19 Même si les deux sujets de Pro\_duo travaillent chacun sur leur partie du projet, nous rappelons que leurs échanges verbaux et leurs passations d'information restent constants.

20 Nous distinguons ici l'explication - ou le transfert de connaissances et compétences à un apprenant - de la synchronisation - un état des lieux collaboratif du projet ou un transfert de données propres au projet.

La collaboration prend enfin, pour TRAGERE, une autre dimension via le transfert et l'appropriation de l'information dessinée. Nous codons dans ce cas d'une part les principes du transfert et le degré de récupération des courbes principales et d'autre part la fidélité de l'appropriation.

CODAGE 5											
Thématique traitée	Schème d'utilisation				Collaboration et Transfert						Feed-back
Description	Capture des caractéristiques de l'usage			Avec qui ?		Modalité collaborative		Modalité d'interaction		Transfert D0 > D1	
Variables	Modalité d'usage	Mode de pensée	Qualité exploitée de l'objet médiateur	Autres	Expertise en design industriel	Expertise en manipulation de l'objet médiateur			Appropriation	Mode de transfert	Feed-back utilisateurs ou observateur remarques
Valeurs	* Naturel, * Catachrèse * "Misuse"	* 2D, * 3D, * Programmation	* Dynamique, * Rapidité Test, * Rapidité Exécution, * Test Conflits, * Test Production	* Symétrie, * Statique, * Cinématique, * Env. Pré-existant, * Zoom	* Haute, * Faible	* Haute, * Faible	* Explication, * Appel à l'aide, * Synchronisation * Négociation, * Coopération	* Verbal, * Désignation, * Action sur support	* Fidèle, * Erronée, * Modif complète (néant)	* Récup. Totale des traits, * Partielle, * Recopiage approx., * Evaluation globale, * Néant	
PRO_COLLAB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓
PRO_DUO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	✓
ANOTO	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓
TRAGERE	-	✓	✓+ transparence	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓

Fig. 77 - Codage 5 : schème d'utilisation et modalités collaboratives.

Le dernier tableau, enfin, s'intéresse aux shifts entre représentations, entre pages et aux différents types d'annotations (figure 78). Le codage des shifts entre différents types de représentations (papier ou numérique) et leurs causes occupent la moitié du tableau. Nous tentons de capturer à quelle fréquence et comment les concepteurs font évoluer leur projet en tirant parti de la polyvalence des objets médiateurs à leur disposition.

Les premières lectures qualitatives des données ont levé le voile sur une diversité d'annotations. Nous codons ces types d'annotations de manière à évaluer si d'autres types peuvent être distingués. Nous n'effectuons cependant pas de comptage systématique, une étude quantitative des annotations en conception dépassant les objectifs de cette recherche.

La dernière thématique traite des shifts de page (ou de calque, si l'environnement est numérique) et ce qui les provoque. Quatre causes générales sont distinguées et nourrissent le codage des trois dernières études uniquement (PRO\_COLLAB, avec sa succession de revues de projet, ne fournit pas suffisamment de données à ce sujet).



CODAGE 6				
Thématique traitée	Shifts entre représentations		Annotations	Shifts de page
Description	Capture des passages d'un type de représentation à un autre et de leurs causes		Capture qualitative	Capture des passages d'une page (ou calque) à un(e) autre et de leurs causes
Variables	Type de shift	Pour quoi faire ?	Type d'annotation	Cause des shifts de page
Valeurs	* papier > CAO * Fond de plan > dessin * vers Fond de plan * 2D > 3D papier * 3D > 2D papier * CAO > 2D papier * CAO > 3D papier * proto > 2D papier * proto > 3D papier * 2D > 3D CAO * 3D > 2D CAO * > proto * CAO > papier	* clarifier positionnement * générer * simuler, évaluer * modifier * environnement pré-existant * synthétiser, expliquer, synchroniser * négocier, insister	* pense-bête * questionnement * fonctionnelle * de principe * technique * de style * d'annonce	* générer un nouveau concept, une variante, modifier > <i>transformation latérale</i> * détailler, annoter, produire un détail technique, ajouter un composant, cristalliser > <i>transformation verticale</i> * communiquer, négocier, expliquer > <i>collaboration</i> * changer de point de vue (changer d'externalisation) > <i>transférer l'information</i> d'une vue à l'autre
PRO_COLLAB	✓	✓	-	-
PRO_DUO	✓	✓	-	✓
ANOTO	✓	✓	-	✓
TRAGERE	✓	✓	-	✓

Fig. 78 - Codage 6 : shifts entre représentations ; annotations et shifts de page.

## 6.2. Traitement quantitatif des données

Si les grilles ont systématisé l'analyse qualitative des données, elles structurent également leur analyse quantitative.

Le tableau suivant résume le nombre de variables prises en compte pour chaque étude ainsi que le nombre d'occurrences qui ont été traitées<sup>21</sup> (figure 79). Face au nombre conséquent de valeurs codées, il nous a fallu garder à l'esprit que si certaines d'entre elles participent à une compréhension élargie des processus de conception (panorama), d'autres par contre sont plus spécifiques à l'étude d'un mécanisme ou d'un phénomène particulier. Notre volonté de délaissier le modèle dichotomique d'analyse au profit d'une approche des complémentarités a donc dû composer avec la nécessité de ne considérer conjointement que des données qui sont effectivement comparables. Il aurait été par exemple erroné de confronter la fréquence d'utilisation des objets médiateurs de PRO\_COLLAB et TRAGERE les protocoles respectifs n'autorisent pas les mêmes usages et limitent donc les rapprochements possibles. Il est par contre intéressant d'évaluer comment le dispositif d'entrée «dessin» (papier/crayon, stylo Anoto® ou Trager® sur Cintiq) impacte les shifts, notamment entre pages.

21 L'ensemble des grilles d'analyse et des codages pourra être trouvé en annexe 8

Etude	Nombre de variables considérées/ occurrence	Nombre d'occurrences traitées	Nombre total de valeurs introduites (1 valeur par variable)
PRO_COLLAB	39	169	6.591
PRO_DUO	40	98	3.920
ANOTO	24	= 250	= 6.000
TRAGERE	29	131	3.799
TOTAL	max. 48	648	20.310

Fig. 79 - Nombre d'occurrences traitées et de valeurs introduites dans la grille globale de codage

L'indice d'applicabilité, lorsqu'il est positif pour plusieurs études (voir abscisse inférieure des tableaux de codage), garantit la possibilité d'en comparer les données. Nous donnons ci-dessous trois exemples, pour trois des valeurs codées, qui confortent la cohérence de cette inter-comparaison.

Le premier exemple illustre la capture du mode de pensée (qui peut être 2D ; 3D ou de programmation). Pour la plupart des études, une observation des gestes (en complément du verbatim) permet généralement d'inférer ce mode de pensée. Pour l'étude ANOTO, nous n'avons pu nous baser que sur les traces graphiques et les post-verbalisations du designer. La figure 80 présente quatre exemples où nous avons pu sans hésitation coder un mode de pensée tri-dimensionnel.

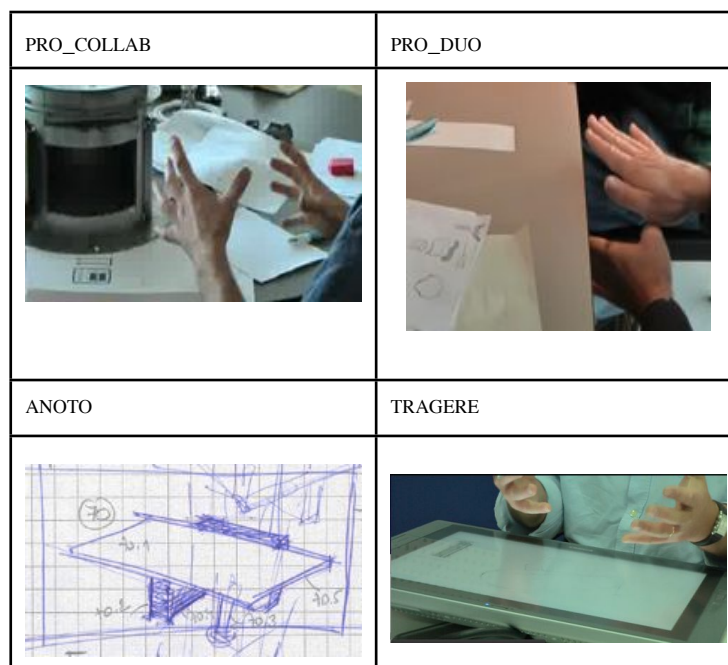


Fig. 80 - Les designers en mode de pensée tri-dimensionnel au travers des quatre études.

La seconde variable choisie en démonstration est le type de trait. Ce type de trait a été codé selon quatre valeurs : flou-répété-cristallisé-alpha numérique. Quel que soit

le dispositif d'entrée, la figure 81 démontre qu'il est très aisé de distinguer, pour chaque étude, les traits cristallisés des traits flous.

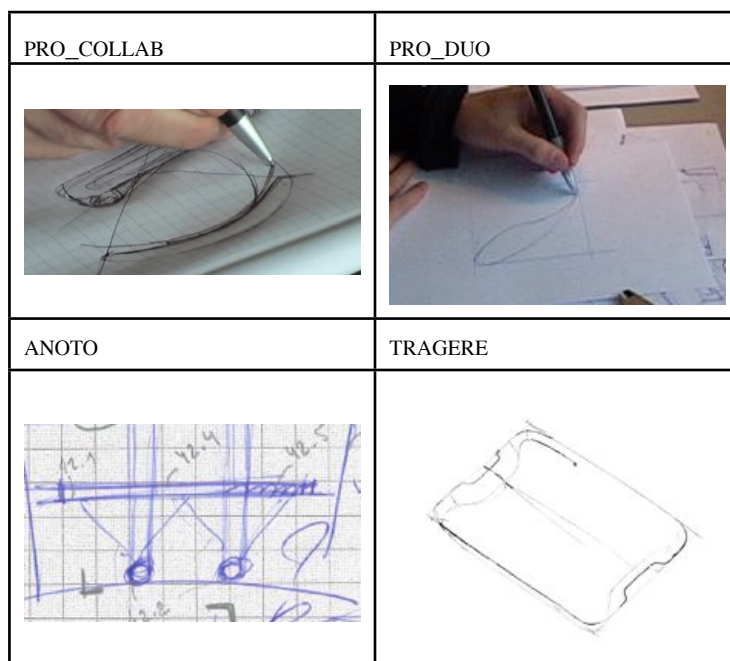


Fig. 81 - Codage des traits flous et cristallisés.

Le dernier ensemble de figures regroupe le codage de la valeur *assemblage*, au sein de la variable *sémantique sous-jacente* (figure 82). Il est parfois difficile de distinguer l'assemblage, le montage et la mise au point de techniques servant d'autres objectifs : le verbatim suffit généralement à résoudre les incertitudes.

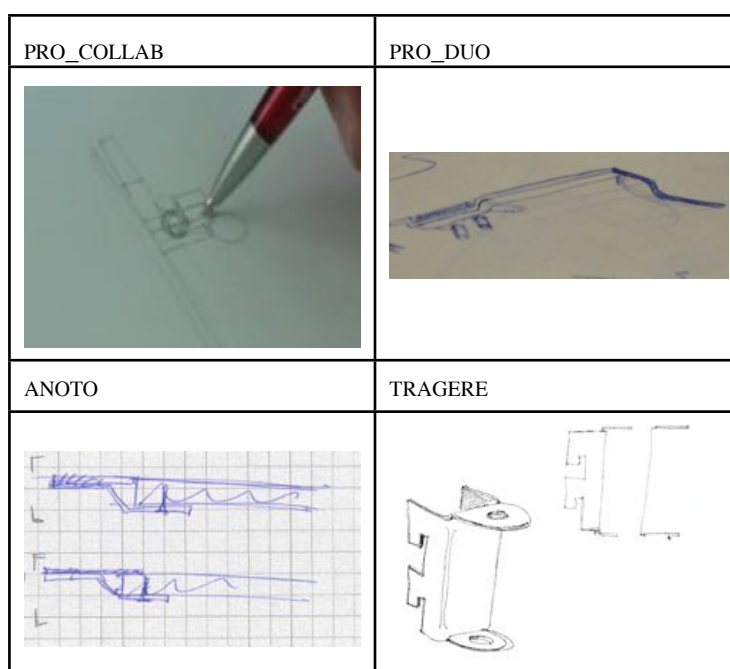


Fig. 82 - Différents exemples de conception d'assemblages.

Une fois cette base comparative assurée, nous générons des tableaux croisés qui recensent, pour chaque variable, les occurrences positives pour chaque valeur. Ces tableaux croisés facilitent la comparaison inter-études et la mise au point de diagrammes. Chaque tableau comporte deux sens de lecture mais nous n'en utiliserons généralement qu'un. Nous indiquerons clairement les cas où les deux sens sont exploités pour mettre en relief certains rapports.

Les diagrammes seront généralement cumulés sur 100 % d'actions recensées de manière à faire abstraction du nombre d'occurrences codées pour chaque étude. Une comparaison en pourcentage nous permet de construire nos réflexions en termes de proportions respectives et de considérer que les données contribuent à la mise au point d'un panorama global de la conception plutôt qu'à l'étude des disparités.

Il arrive effectivement que certaines valeurs ne rassemblent qu'un nombre limité d'occurrences (en dessous de la dizaine, parfois même quelques unités). Ces occurrences rares mais souvent cruciales peuvent de par leur nombre ne pas remplir une condition de généralisation suffisante. Si des occurrences aussi peu nombreuses se répètent de sujet à sujet et au sein de la variété des contextes d'étude, nous nous autorisons cependant à leur associer, prudemment, une certaine représentativité des pratiques.

Certains résultats quantitatifs seront également présentés selon leur évolution chronologique, de manière à mettre en lumière certaines dynamiques et certains cycles d'actions.

Il a par ailleurs été décidé (suivant les conseils de M. De Bruyn, expert statisticien de l'ESSEC, école française de commerce) de ne pas appliquer de méthodes statistiques aux données récoltées. Une analyse numérique à partir de pourcentages d'occurrences et une analyse de l'évolution dans le temps de certaines données répondent de manière tout à fait pertinente aux objectifs poursuivis par ce projet de recherche. Des tableaux croisés dynamiques ont donc été consciemment construits en vue d'une analyse certes quantitative, mais avant tout *compréhensive* des situations observées. Ces tableaux, lorsque les contextes et protocoles l'autorisent, recensent automatiquement toutes les occurrences correspondant à une variable ou une valeur fixée et nous permettent de croiser les données d'une étude à une autre. Ils ne s'embarrassent pas d'hypothèses à confirmer ou infirmer et favorisent l'émergence de tendances qui, étant donné l'absence intentionnelle de tests de corrélation, se doivent d'être suffisamment marquées que pour être considérées<sup>22</sup>.

Notre objectif étant avant tout de pister les variants et invariants de l'usage des objets médiateurs et des pratiques professionnelles en conception préliminaire, nous craignons qu'une application systématique de tests d'indépendance tels que le Chi<sup>2</sup> nous éloigne d'une approche plus sensible de la situation représentée, indispensable au

---

22 Il nous faut également ajouter que le caractère indépendant des variables traitées est largement ouvert à discussion. Deux codages - l'un sur l'outil utilisé, l'autre sur le contexte collaboratif par exemple - en apparence disjoints, observés chez le même sujet à quelques minutes d'intervalle et dans le même contexte de travail, peuvent-ils être considérés comme indépendants ? Rien n'a permis de le déterminer formellement - ni de notre part, ni de la part de l'expert de l'ESSEC.

recueil des événements fugitifs et pourtant décisifs qui jalonnent naturellement tout processus de conception.



## Chapitre 4 - Résultats

Ce chapitre présente les résultats issus des campagnes qualitatives et quantitatives d'analyse des données. Ces résultats nourrissent la mise au point d'un panorama de la conception préliminaire en design industriel et construisent conjointement notre compréhension des phénomènes. Nous discutons dans un premier temps la pertinence de ce panorama et celle de notre hypothèse de «non dichotomie» (section 6.2, chap. 2). Pour une plus grande facilité de lecture, les autres résultats sont présentés selon une logique chronologique, suivant un scénario type qui modélise et résume le plus globalement possible les mécanismes de conception des 4 contextes observés. Les pertinences et nécessités d'une assistance se développent peu à peu et s'achèvent, dans le chapitre 5, avec une analyse à granulométrie fine des types de traits et types d'externalisations soutenables.

### Préambule

Le premier chapitre s'est conclu, entre autres, par l'énonciation de plusieurs questions de recherche. Celles-ci, annotées suite à l'état de l'art (chapitre deux), sont regroupées par thématiques et rappelées ci dessous.

#### **T1 - Les processus de conception préliminaire (individuels ou collaboratifs)**

- \* En quoi consiste aujourd'hui et depuis l'avènement des outils de Conception Assistée par Ordinateur, la notion de conception préliminaire ? Quelle est son évolution et comment les objets médiateurs y sont-ils intégrés ?

#### **T2 - Les impacts du contexte «métier»**

- \* Quels impacts respectifs le contexte du projet (contraintes, délais, type de projet, attentes du client, modalités du travail collaboratif, ...) et les usages des outils peuvent-ils avoir l'un sur l'autre ?
- \* Quels impacts la profession naissante de «dessinateur» a-t-elle sur la pratique du design industriel, en particulier en ce qui concerne la répartition des tâches, les modalités du travail collaboratif, l'usage des outils et l'évolution des expertises ?

#### **T3 - Les usages des objets médiateurs (dessin à main levée ; logiciels de Conception Assistée par Ordinateur ; représentations résultantes) en conception individuelle ou collaborative**

- \* Comment les outils «numériques» et «traditionnels», mais aussi les représentations qui y sont liées, s'articulent-ils dans leurs usages tout au long du processus de conception préliminaire ?
- \* Comment ces objets médiateurs (outils + représentations) sont-ils utilisés, mais aussi déviés de leurs usages principaux ?

#### **T4 - Les spécificités de ces objets médiateurs (potentiels ; limitations) et leurs pertinences**

- \* Comment, pourquoi, à quel moment les concepteurs font-ils appel à telle spécificité de tel objet médiateur plutôt qu'une autre ?
- \* Comment les objets médiateurs contribuent-ils au processus de conception ?
- \* Quels sont leurs impacts et spécificités respectifs ?
- \* Quelles sont les caractéristiques des objets médiateurs «communicables» ?
- \* Comment tirer parti de ces caractéristiques ?

**T5 - Les mécanismes de transition entre représentations 2D et 3D d'un objet**

- \* Quels sont les mécanismes actuels de définition et de passage entre représentations 2D et 3D d'un objet ?
- \* Quelle importance donner à cette transition et comment traiter les traits qui la structurent ?
- \* Quels sont les besoins réels des concepteurs à ce sujet ?
  
- \* Comment gérer efficacement la césure entre modèle conceptuel et modèle «de développement» ?

**T6 - La structuration et le contenu des représentations externes générées (unité graphique ; formalisme) et leurs pertinences**

- \* Quels sont les contenus significatifs des traces (ou représentations) externes générées ?
- \* Et parmi ces contenus significatifs, quels niveaux d'abstraction, quels contenus devrions-nous sauvegarder, améliorer ?

**Mise au point d'un outil d'assistance**

- \* Comment pourrions-nous tirer parti des complémentarités des objets médiateurs actuels ?
- \* Quelles spécificités de la conception préliminaire, ses usages et ses objets médiateurs, faudrait-il conserver, ou au contraire améliorer, «augmenter» ?

Cinq études, présentées en détail dans le chapitre trois, nourrissent conjointement notre compréhension des mécanismes de la conception préliminaire en design industriel. Elles construisent une analyse de la conception en panorama, qui compense la représentativité limitée de certains résultats étant donné un nombre parfois trop faible d'occurrences.

Leurs apports fondamentaux respectifs ainsi que leurs particularités (locales mais cruciales) sont résumées dans le tableau ci-dessous (figure 83). Ce tableau retrace les particularités des méthodologies respectives et rappelle également à quel point les résultats (qualitatifs ou quantitatifs) sont liés à une vue globale et comparative des 5 situations et ne se contentent donc pas d'une présentation linéaire, étude par étude.



Étude	Approche	Contexte	Type de produit conçu	Nombre de sujets	Méthodologie	Traces récupérées	Mots clés résumant les résultats locaux (en réponse aux thématiques de QR)
PRO_COLLAB	* Exploratoire et transversale * Panorama de la conception	* Conception routinière et innovante * Revues de projets collaboratives individuelles (post-réunions)	* Corps de chauffe (assemblages et haute technicité)	8 (5 designers + 3 dessinateurs)	* Observations in situ instantanées * Entretiens individuels et binômes (et analyses rétrospectives) * Suivi de réunions * Débriefings	* Audio et vidéo * Scans * Photographies * Captures d'écran dynamiques	* T2 : Impact dessinateur * T1, T3, T5 : Allers-retours dessin → CAO * T1 : Non-dichotomies * T3 : Usages objets médiateurs
PRO_DUO	* Longitudinale * Conception préliminaire * <i>via</i> tous objets médiateurs	* Conception innovante * Binôme en collaboration / coopération * Contexte du concours (client absent)	* Mobilier modulaire (interface de vente + coin jeu)	2 concepteurs/modélisateurs	* Observations in situ * Séances d'auto-film * Entretiens (et analyses rétrospectives) * Suivi de réunions * Débriefings	* Audio et vidéo * Scans * Photographies * Captures d'écran dynamiques	* T4 & T6 : Ré-appropriation et key-features * T5 : Mécanismes de transfos 2D → 3D * T6 : Représentations esquissées, détaillées, techniques * T4 : Essence communicable «pure» * T1 : Deux types de processus de conception : conversation réflexive et image mentale
ANOTO	* Longitudinale * Conception préliminaire * <i>via</i> dessins	* Re-design * Conception individuelle * Contexte de la commande (client acquis)	* Bureau Virtuel portatif * Hardware (technologique)	1 designer + 1 expert conseil extérieur + 4 clients	* Récupération a posteriori des traces graphiques «Anoto ®», commentées par le sujet * Entretien (et analyses rétrospectives) * Suivi de réunions * Débriefings	* Traces exploitables dynamiquement (logiciel) * Audio * Photographies	* T2 & T6 : «Vente» de la représentation et impacts du formalisme * T6 : Principes graphiques récurrents * T3 : Importance du référentiel en collectif
TRAGER	* Expérimentale * Étude de l'unité graphique numérique en conditions contraintes * Transferts entre binômes aveugles	* Sessions courtes de dessin sur tablette graphique	* Plateau cantine * Coin jeu * Yacht plaisir	13 (12 séquences traitées)	* Observations en laboratoire * Récupération a posteriori des traces graphiques * Entretiens (et analyses rétrospectives) * Débriefings * Feed-back utilisateurs	* Traces exploitables dynamiquement (capture écran dynamique) * Verbalisations instantanées * Audio et vidéo	* T3 & T4 : Transferts, ré-appropriation et key-features * T4 : Principes communicables individuels = collaboratifs * T6 : Mécanismes perceptifs * T6 : Taxonomie de traits ; absence de symboles * Nombre de variantes générées indépendant du protocole d'expérimentation
FORMA_V	* Expérimentale * Étude des pertinences et formalismes des représentations externes générées par la CAO	* Recueil d'avis	/	13	* Verbalisations instantanées et commentaires portant sur cinq représentations du même objet	* Audio et vidéo	* T6 : Formalisme «sketchy» serait inutile à la conception préliminaire * T6 : Photo-réalisme : uniquement pour la communication du projet à un membre extérieur

Fig. 83 - Résumé des cinq études et de leurs principaux résultats.

Les deux sections suivantes discutent respectivement la pertinence du panorama de la conception ainsi établi et les nouvelles frontières que nous nous proposons de donner à la conception préliminaire. D'autres résultats qualitatifs et quantitatifs étayent les réponses données aux questions de recherche et sont organisés par phase de conception. Afin de mieux tirer parti de ce que l'approche comparative des contextes d'étude variés peut nous offrir, nous proposons effectivement de réintroduire nos discussions dans un *scénario des pratiques et d'usage des objets médiateurs*. Ce scénario global (figure 84), qui résume les différentes facettes de la conception telles qu'on a pu les observer, permet ainsi de replacer tous les résultats dans un contexte d'action qui rappelle au lecteur dans quelles conditions les événements sont considérés. Ce modèle est récursif : à chaque phase (chaque «boîte») correspond un sous-modèle qui est développé au fil du texte. Nous développerons ainsi quatre phases ou sous-modèles : (i) la première phase de conceptualisation et esquisse du projet ; (ii) une seconde phase de travail collaboratif sur l'essence communiquée ; (iii) une troisième phase de transfert et d'appropriation d'une essence qui devient synthétique et enfin (iv), une dernière phase de modifications et itérations de l'essence devenue technique.

Le scénario présente trois autres particularités :

- ses «boîtes» ou phases s'ordonnent de manière dépendante et chronologique. Leur articulation correspond à une succession logique de tâches, bien que tous les processus de conception n'impliquent pas nécessairement un passage obligé par chacune d'entre elles ;
- il présente des boucles : en respect de notre précédent positionnement en revue de la littérature, nous présentons des modèles itératifs et opportunistes plutôt que des modèles linéaires et rejoignons de ce fait une large part de la communauté scientifique ;
- il suggère les nécessités d'une assistance (cadres entourés de rouge), indiquant au lecteur à quels endroits nous pouvons pertinemment examiner *quand-pourquoi et comment* soutenir, augmenter ou abandonner un aspect particulier du processus.

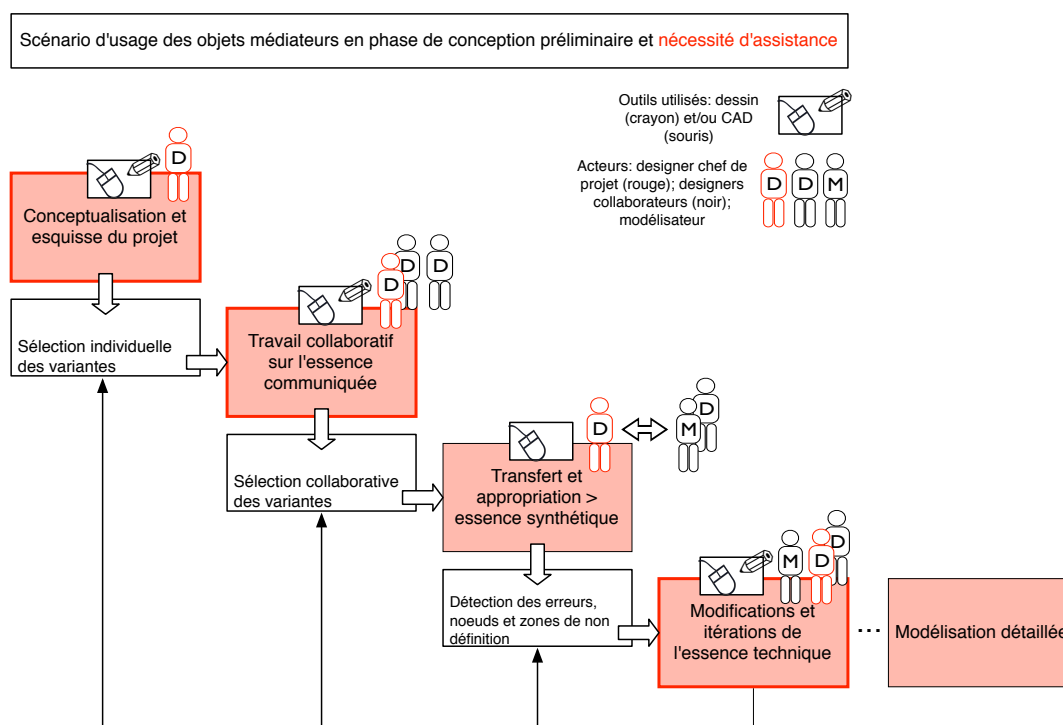


Fig. 84 - Le modèle récursif du scénario global des pratiques et d'usage des objets médiateurs. Boîte rouge: sous phase du modèle. Boîte blanche: résultat de cette sous phase.

Certains extraits de l'activité de conception observée seront placés dans des cadres grisés et soutiendront nos propos, tandis que les apports principaux de la thèse seront repérés par des marqueurs colorés.

## 1. Une diversité des situations observées pour un panorama complet de la conception préliminaire

La section suivante s'attèle à démontrer la variété des situations observées et donc la qualité du panorama global de la conception préliminaire. Une première richesse tient en la diversité des objets conçus : technologiques et très manufacturiers chez PRO\_COLLAB ; mobilier innovant, à taille humaine, chez PRO\_DUO ; re-design d'une haute technologie chez ANOTO et enfin une large variété d'objets (certains à qualité préhensile) conçus ou ré-appropriés chez TRAGERE.

Une preuve supplémentaire de la variété des situations observées tient en la large collection des objectifs soutenus (ou phases de la conception) et leur représentation équilibrée au sein de trois des quatre principales études in situ (l'absence de verbatim pour l'étude ANOTO ne nous permettait pas d'inférer avec une assurance suffisante la phase de travail et l'objectif poursuivi). Comme le montre la figure 85<sup>1</sup>, les huit valeurs

<sup>1</sup> Par facilité, nous suggérons que la lecture des barres du diagramme se fasse dans le même sens que la lecture de la légende : les couleurs et le sens d'apparition des couleurs sont respectés.

codées se répartissent effectivement non seulement entre les trois études (la dénomination PRO rassemblant les études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO et ce tout au long des chapitres à venir), mais aussi au sein des différents objets médiateurs exploités (nous codons «3D» tant pour l'usage d'un modèle CAO que l'usage d'un prototype ; de même, les élévations peuvent soit figurer un modèle CAO 2D soit une élévation dessinée sur papier<sup>2</sup>). Ce graphe révèle également quelques usages plus marqués de certains objets, dont il sera question plus loin. Nous pouvons déjà remarquer que l'absence, dans l'expérimentation TRAGERE, de l'outil numérique et du prototype reporte certains objectifs à d'autres externalisations (la communication se fait préférentiellement au travers de l'annotation par exemple), tandis que les spécificités des contextes poussent les concepteurs à utiliser différemment les outils à leur disposition. PRO par exemple, avec ses contextes écologiques, intègre des considérations techniques et productives (voir [Prod], en orange) ; TRAGERE fait la part belle à la conception, mais aussi à la communication et à la cristallisation, amplifiées par le transfert conscient entre binômes de designers.

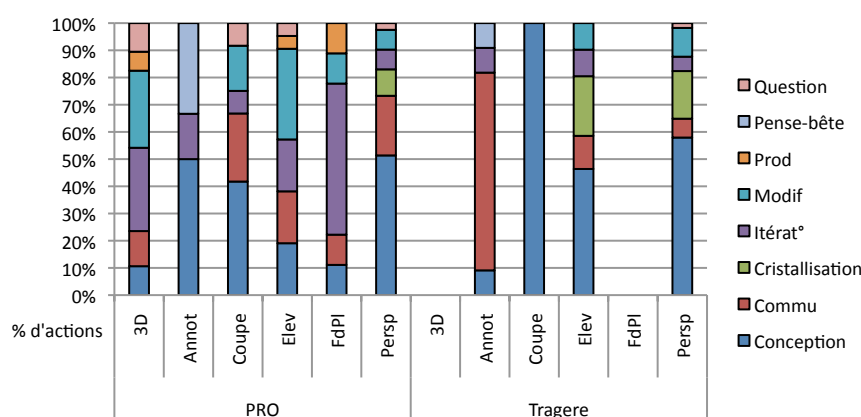


Fig. 85 - Usage des objets médiateurs et objectifs poursuivis.

En termes de niveaux d'abstraction également nous pouvons attester d'une certaine représentativité des situations observées (figure 86). Si le niveau «intention» (le plus haut niveau d'abstraction codé) n'apparaît pas chez PRO\_COLLAB pour des raisons évidentes (cette phase intentionnelle étant depuis longtemps dépassée ; la revue de conception s'intéresse beaucoup plus à des questions techniques et de mise en production), on peut cependant se demander pourquoi il disparaît également chez TRAGERE. Deux caractéristiques du contexte peuvent expliquer cette absence de «parti conceptuel» : d'une part la relative facilité de l'énoncé proposé aux designers et/ou d'autre part le plus faible investissement personnel dans le

<sup>2</sup> Nous utilisons quelques abréviations au sein des figures, par facilité : elles seront les mêmes tout au long de ce chapitre. [Annot] tient bien sûr pour Annotation ; [Elev] pour élévation ; [FdPI] pour dessin sur fond de plan ; [Persp] pour perspective.

développement du projet et donc dans la recherche intense d'idées et concepts qui auraient pu se traduire par un tel niveau intentionnel. Le graphe révèle également immédiatement que c'est dans le niveau «caractéristique physique» ([carac phy]) que les designers semblent le plus souvent évoluer, ce qui pourrait s'expliquer par les particularités du design industriel présentées en section 2 du chapitre 2 (i.e. l'importance du détail ; l'entrée rapide dans une étape opérative de réalisation et de production ; travail à une échelle physique et abstraite réduite).

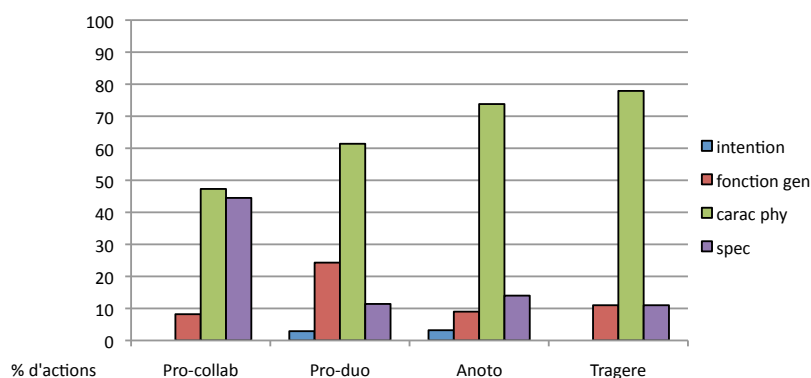


Fig. 86 - Niveaux d'abstraction atteints au sein des quatre contextes. [fonction gen] = fonction généralisée ; [carac phy] = caractéristique physique ; [spec] = spécifications.

Cette variété des niveaux d'abstraction, au delà des étapes successives de réalisation du dessin qu'elle dépeint, se marque également au sein des traces graphiques récupérées. Le diagramme suivant présente les proportions d'externalisations *esquissées* et *détaillées* au sein des quatre études (en faisant apparaître cette fois les spécificités de PRO\_COLLAB et PRO\_DUO, cf. figure 87). Si les proportions présentées pour les 3 dernières études semblent logiquement correspondre à la définition traditionnelle de la conception préliminaire, nous réalisons à quel point les représentations esquissées (via le dessin ou la modélisation 3D) sont encore présentes à un stade plus avancé, symbolisé par la revue de conception collaborative de PRO\_COLLAB.

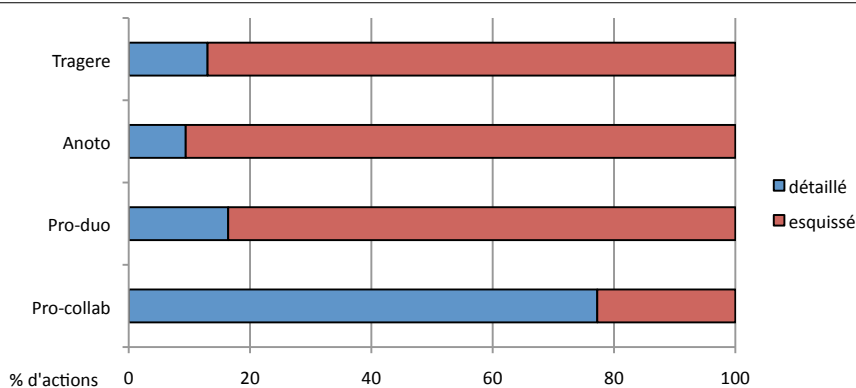


Fig. 87 - Proportions de représentations détaillées et esquissées au sein des quatre études.

Les deux graphes suivants (figures 88 et 89) s'intéressent quant à eux à la sémantique sous jacente traitée au fil des études et poursuivent la démonstration de la diversité de l'éventail observé. Ils font apparaître quelques spécificités supplémentaires : le caractère très techno-centré de la revue de conception de PRO\_COLLAB ressort par exemple distinctement (marqueurs A), la phase de conceptualisation formelle étant dépassée depuis longtemps. PRO\_DUO, dans son contexte très contraint de concours (sans recours au client absent et avec une volonté forte de limiter un maximum, dans un premier temps, l'effort consenti aux détails techniques du projet), se démarque par un travail intense sur l'esthétique et la fonctionnalité (cf. figure 88) et une approche largement formelle (figure 89). ANOTO, lui, est marqué tout au long de son processus par la recherche d'une identité esthétique forte. Rappelons que le cahier des charges est dans ce cas déjà très complet et que les premiers entretiens avec la clientèle suffisent à rapidement s'assurer qu'une solution technique et fonctionnelle pré-existante est finalement la plus adaptée et qu'elle doit être reprise telle-quelle. TRAGERE, enfin, confirme la place que prennent les questions esthétiques et fonctionnelles dans les tout débuts d'un processus de conception préliminaire à faible taux de contraintes.

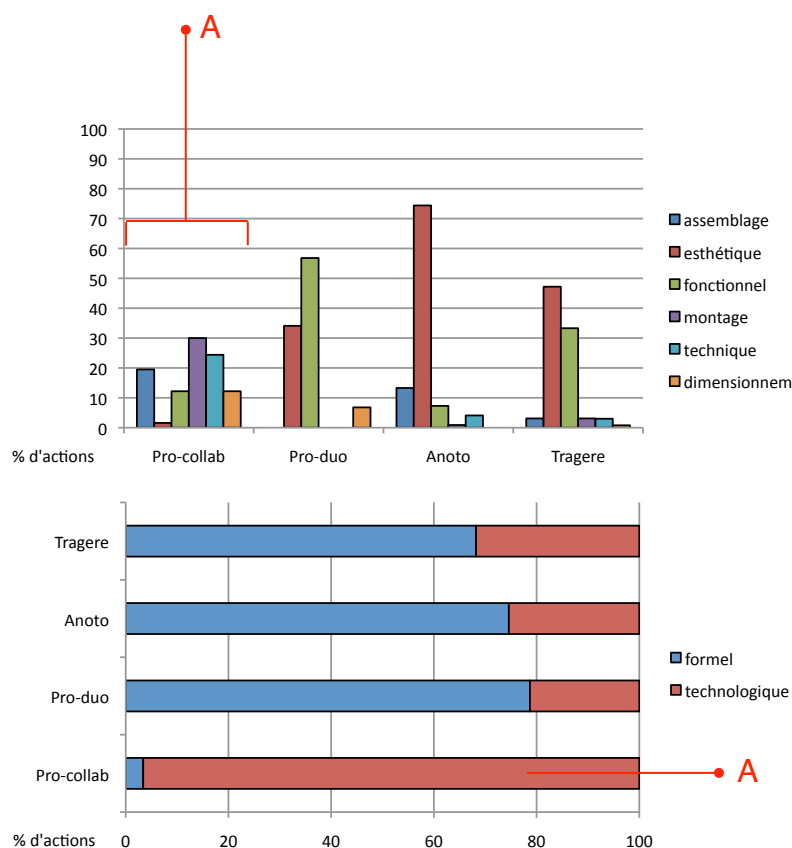


Fig. 88 (haut) et 89 (bas) - Sémantiques sous-jacentes portées par les différents projets observés.

Si l'on examine l'évolution chronologique des valeurs détaillées de la sémantique des quatre études, on réalise à quel point le processus de conception est opportuniste (figure 90). Les quatre courbes fluctuent en respect de leurs contextes respectifs. La courbe bleue par exemple (celle de PRO\_COLLAB) se positionne dans le haut de sa zone de développement, ce qui confirme le caractère technique et appliqué des questions traitées, tandis que la verte (pour ANOTO) oscille longuement entre des considérations esthétiques et fonctionnelles, parfois indissociables.

Chez PRO\_DUO (courbe rouge), quelques considérations de dimensionnement structurent les débuts du processus. Les designers disposent en effet d'un cahier des charges présentant des indications précises quant aux dimensions de référence à respecter. Ces quelques cotes constituent des points durs incontournables auxquels les concepteurs se réfèrent aux débuts du processus.

La courbe TRAGERE rassemble bout à bout les 12 processus observés (13 designers participants mais 12 séquences récupérées). Des allers-retours se font à nouveau entre considérations esthétiques et fonctionnelles pour la plupart des designers. Sur les cinq designers D1 (qui, pour rappel, récupèrent les croquis des designers D0), trois d'entre eux emmènent le projet vers des questions d'ordre plus technique (D1\_5 ; D1\_7 ;

D1\_11). Le cinquième récupérateur (D1\_5) en particulier travaille selon une séquence très organisée, en allant systématiquement vers des considérations plus concrètes d'assemblage, de montage etc (les sémantiques étant disposées selon un degré d'abstraction toujours moins haut).

Ce que l'on retiendra de ces courbes (qui représentent différents contextes capturés à différents états d'avancement) est leur caractère «en dent de scie», qui traduit des allers-retours constants entre les différents niveaux sémantiques de conception en design industriel.

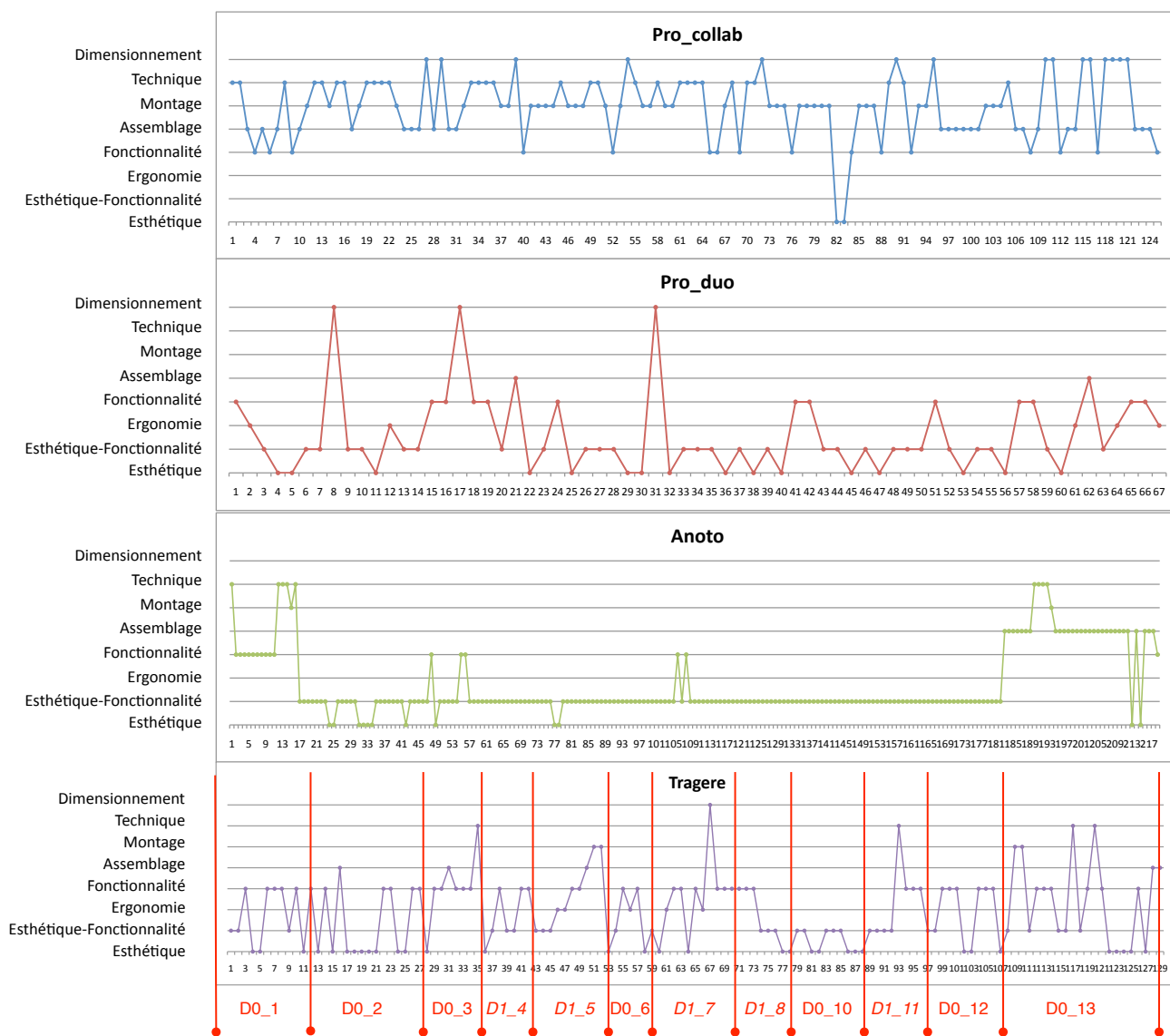


Fig. 90 - Evolutions chronologiques des sémantiques sous-jacentes, dans les quatre contextes. En abscisse, les actions pour lesquelles ce codage particulier a pu être réalisé.



Cette démonstration des variétés collationnées et leurs contextes sémantiques nous pousse à proposer un premier modèle conceptuel de la conception préliminaire (figure 91). Celui-ci positionne les cinq principales caractéristiques sémantiques relevées sur une échelle temporelle (linéaire par simplification, mais qui intègre bien entendu de nombreuses boucles itératives), celle échelle évoluant de la phase de conception préliminaire à la phase de mise en détail.

Ce modèle propose une phase de conception préliminaire qui intègre non seulement des réflexions à bas niveau d'abstraction (ou haut niveau de détail) mais aussi des réflexions activement soutenues tant par l'outil traditionnel de dessin à main levée que par les caractéristiques dynamiques des outils de Conception Assistée par Ordinateur. Il tente de dépasser l'actuelle confusion qui peut régner entre «conception» et «modélisation» (relevée notamment chez des étudiants, cf. section 3.5.3 du chapitre 2) et confirme la nécessité de prendre plutôt en compte une notion plus large de «modèle conceptuel du produit».

En y positionnant les points de départ des quatre études ainsi que les quatre principales phases de notre scénario global, nous soutenons que PRO\_COLLAB, malgré l'intégration d'objets médiateurs non «traditionnels» et des considérations esthétique-fonctionnelles largement dépassées, fait toujours bel et bien partie d'une phase de conception préliminaire. La section suivante va étayer cette proposition.

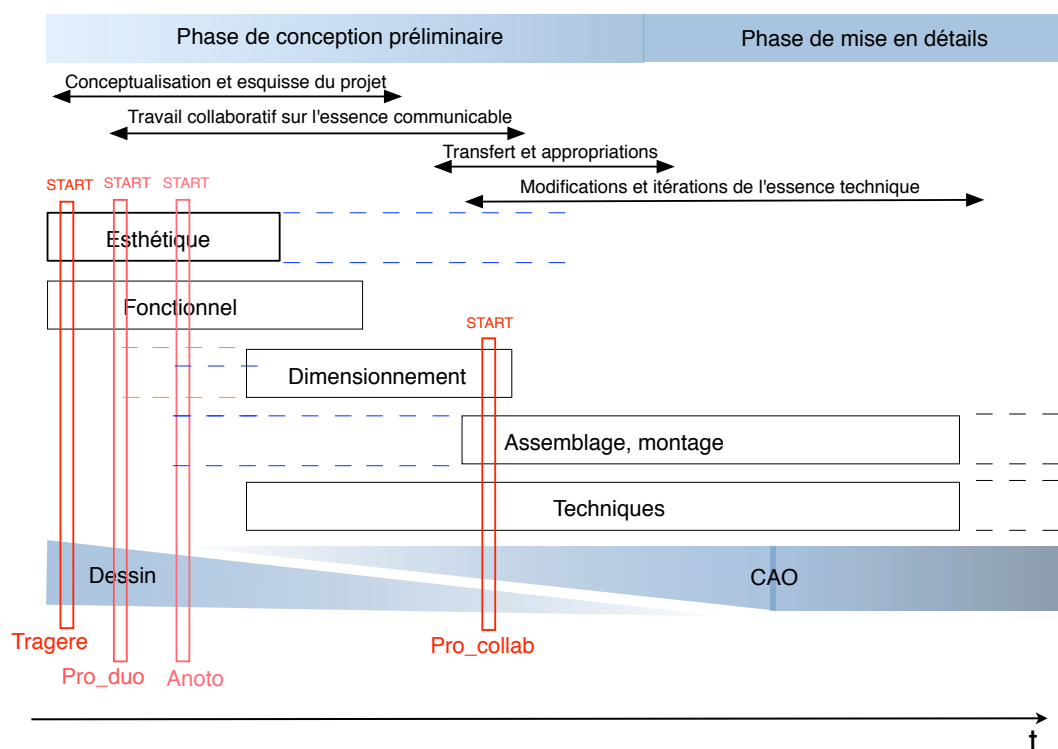


Fig. 91 - Un premier modèle sémantique de la conception préliminaire et ses outils avec les points de départ d'observation des études.

## 2. La «conception préliminaire» et les usages neufs de la Conception Assistée par Ordinateur

### 2.1. L'élargissement des frontières de la conception préliminaire et les allers-retours dans les usages des objets médiateurs

Nous pouvons réaliser à quel point les frontières de la conception préliminaire en design industriel sont élargies en observant la figure 92. Celle-ci compare l'évolution chronologique des principaux objectifs poursuivis durant les processus de PRO\_COLLAB et PRO\_DUO. Sans entrer dans une lecture trop détaillée, on observe que PRO\_DUO se développe en deux temps : une première phase de travail où les deux intervenants conçoivent, échangent, collaborent et comparent plusieurs variantes (via une collection de références visuelles) et une seconde phase où les itérations sur une même variante se font plus précises et qui s'achève par un pic de cristallisation et de production. L'ensemble du processus est marqué par une communication constante : la conception est distribuée mais les partages d'opinion sont fréquents.

Comparons à ce processus (que l'on peut qualifier de classique) l'évolution observée chez PRO\_COLLAB : cette fois les intervenants sont directement impliqués dans plusieurs cycles de modification/itération (représentatifs du travail de revue de conception) entre lesquels s'intercalent des pics de conception. La collaboration se structure ici sur un rythme de synchronisation cognitive, les différents participants se posant mutuellement des questions pour s'assurer d'être sur la même longueur d'onde.

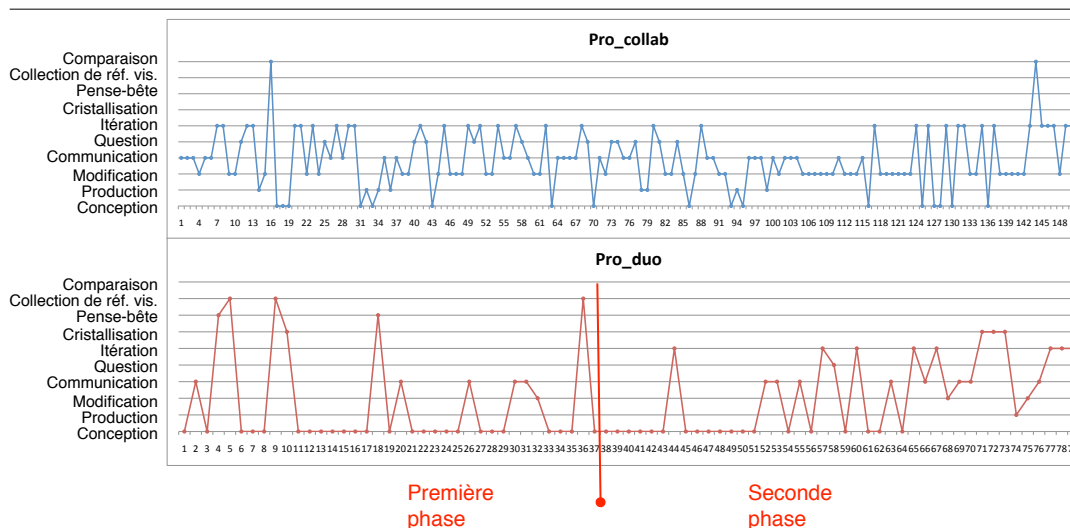


Fig. 92 - Evolution chronologique des phases de la conception chez Pro\_collab (en revue collaborative de projet) et Pro\_duo (en formulation conceptuelle d'idées). En abscisse, les actions pour lesquelles ce codage particulier a pu être réalisé.

La théorie voudrait que les débuts du processus de PRO\_DUO soient classés dans ce que l'on appelle la *conception préliminaire* (où priment le développement conceptuel d'idées et solutions satisfaisantes, en réponse à un problème donné), tandis que PRO\_COLLAB, avec ses considérations plus techno-centrées, serait classé dans la phase de *mise en détail*. Pourtant, des allers-retours constants vers conception et modification laissent à penser que le développement de concepts est toujours bien présent.

Cette distinction théorique entre conception préliminaire et mise en détail se construit également, rappelons-le, sur les outils et représentations utilisés en soutien de ces phases de conception. Selon la théorie, les débuts conceptuels de PRO\_DUO devraient exclusivement être soutenus par le dessin à main levée, tandis que les revues de questions techniques et la mise en production des objets de PRO\_COLLAB devraient être soutenus par la CAO et les prototypes physiques.

Or il apparaît très clairement sur la figure 93 qu'en pratique les usages des trois principaux outils ne respectent pas cette répartition théorique. Non seulement les acteurs de PRO\_DUO font un usage rapide de la CAO, mais en plus (et de façon plus significative) les designers de PRO\_COLLAB reviennent à de nombreuses reprises vers le dessin et ce tout au long du processus de revue de conception.

Peut-on dès lors toujours déclarer que PRO\_COLLAB illustre une phase de mise en détail ? Si le dessin n'était exclusivement exploité si tardivement que pour ses qualités de représentation industrielle (comme il l'était avant l'arrivée des ordinateurs), nous le pourrions. Ce n'est pourtant plus le cas : même si les questions posées sont résolument tournées vers la production, les techniques de montage et les détails techniques, le dessin sert toujours bel et bien à générer et évaluer plusieurs variantes, rarement routinières, plus souvent innovantes voire créatives. L'objet médiateur, dans ce cas, continue donc à soutenir des objectifs très clairement associés à l'idéation : il attribue à PRO\_COLLAB sa place au sein du processus de conception préliminaire.

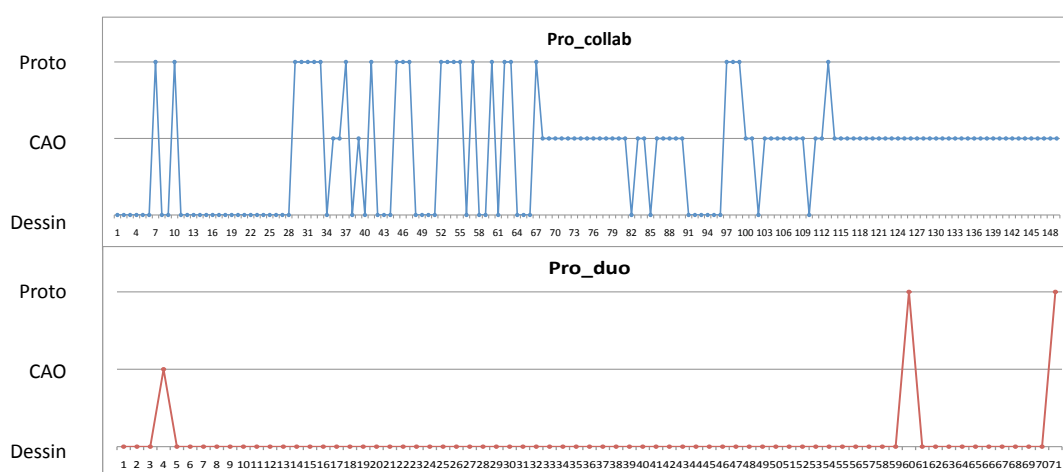


Fig. 93 - Usage des principaux outils sur une base temporelle.

Pour tenter de mieux comprendre ce qui justifie ces usages tardifs du dessin - et, respectivement, précoces de la CAO - nous nous tournons vers certaines données qualitatives révélées par les lignes du temps construites pour PRO\_COLLAB (cf. section 3.1.4 chapitre 3). La figure 94 de la page suivante en constitue en quelque sorte le résumé : elle présente, en abscisse, tous les objets médiateurs qui ont été utilisés en revue de conception chez PRO\_COLLAB et, en ordonnée, les trois niveaux d'utilisation de ces objets médiateurs :

- un niveau cognitif : on liste ici la «phase» cognitive dans laquelle le concepteur se trouve (acquisition de connaissances, d'informations, évaluation, génération, itération, ...)
- un niveau usage : qui répond principalement à la question «à quoi ça sert ?» ;
- un niveau production : qui évalue la production obtenue à chaque niveau de l'activité, dans sa chronologie et dans son contenu.

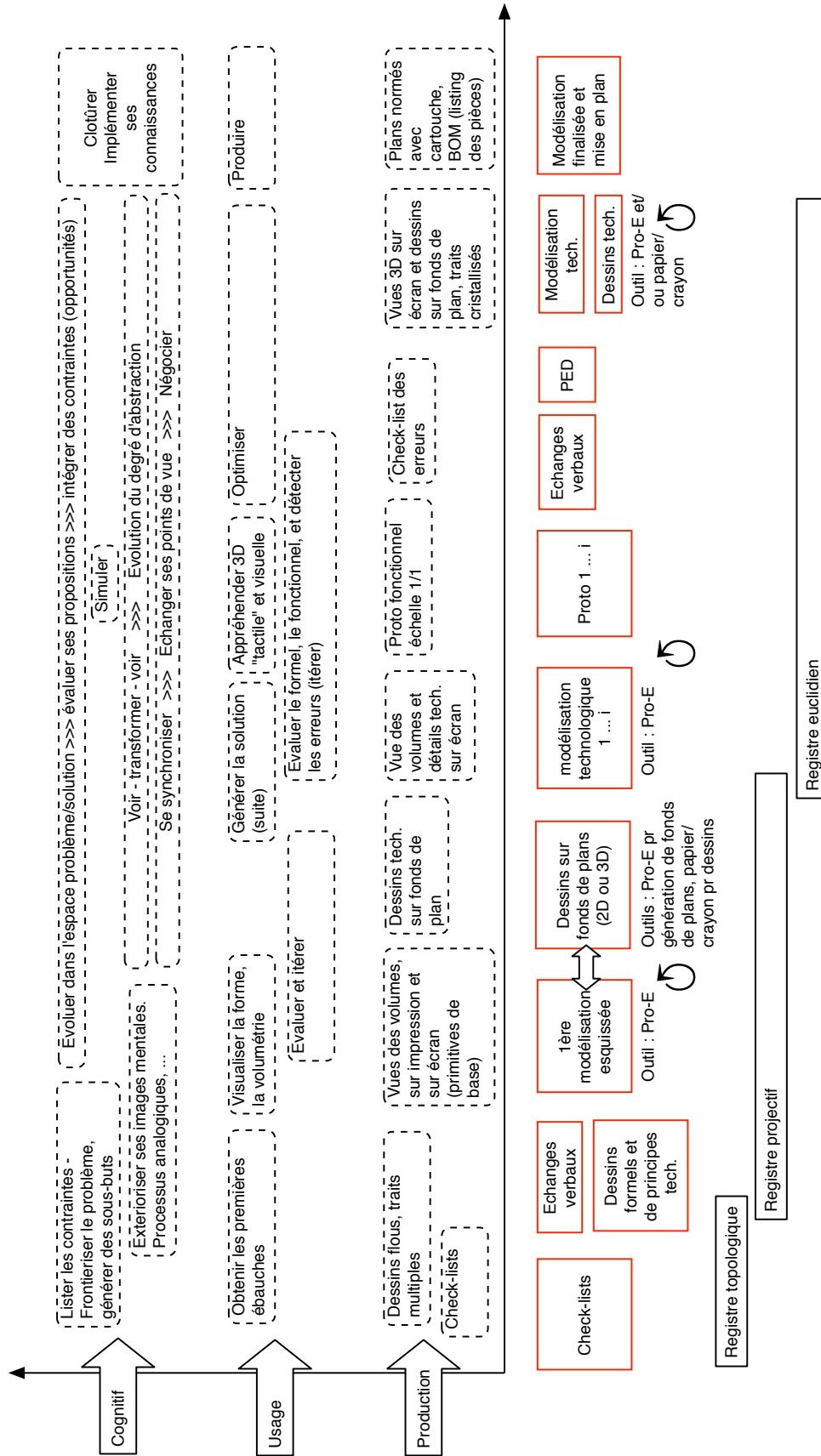


Fig. 94 - Ligne du temps globale de l'usage des objets médiateurs en conception industrielle.

Nous constatons que la CAO apparaît effectivement plus d'une fois très tôt dans le processus de conception et qu'en fin de parcours réapparaissent des dessins, à des stades habituellement associés aux outils de CAO. En quoi ces deux types d'externalisation diffèrent-ils d'une part des dessins industriels traditionnels et d'autre part des modèles 3D détaillés ? La réponse à cette question tient dans l'étude des boucles itératives qui apparaissent au cours du processus ainsi que dans l'évolution des niveaux d'abstraction atteints par le produit en cours de conception.

Le graphe fait effectivement apparaître de nombreuses boucles qui sont, comme nous l'avons vu dans l'état de l'art, un concept communément admis par les auteurs de référence. Si nous entrons plus dans le détail de l'étude de ces boucles, nous observons que lorsqu'il s'agit des outils médiateurs et des représentations qui y sont associées, ces itérations présentent des modalités différentes. Ainsi, en première boucle, le croquis reste flou, dynamique et ouvert. Il est complété d'une modélisation simple, dénuée d'apparat et claire à la lecture. Celle-ci est également facilement modifiable et paramétrable lorsque cette option est utile. Les designers désignent ces modèles 3D grossièrement et rapidement exécutés comme étant des «esquisses». Nous employons plutôt le terme de *modélisation esquissée* pour éviter toute confusion. Cette phase se conclut par une première définition des concepts. L'évolution se fait alors linéairement dans sa globalité, le concepteur proposant une modélisation plus complexe de son projet, parfois en itération avec des prototypes physiques, simulateurs de comportements et testeurs de faisabilités.

Une dernière boucle, dépendante du degré d'opportunisme de la conception, des interactions avec les collègues et la considération de nœuds techniques, peut alors apparaître. L'itération se conclut par un retour vers le dessin, mais dans un mode différent. Celui-ci présente en effet un contenu autre et vise d'autres objectifs : plus technique, plus tourné vers la résolution d'un nœud spécifique, il ne balaye plus de façon globale l'aspect formel du produit comme pouvaient le faire les premières tentatives et il ne correspond pas non plus à un dessin industriel, avec ses codes graphiques propres et ses cotations. Il tente plutôt de solutionner un nœud technique précis et permet au designer de tester rapidement plusieurs variantes pour enfin sélectionner celle qui sera à nouveau modélisée. Cette itération *bottom-up* aboutit à un modèle 3D toujours plus détaillé.

Chaque boucle, avec ses allers-retours entre outils et représentations différents, présente donc un contenu variant en fonction de l'état d'avancement du projet. Le modèle peut être rapide et esquissé, le dessin technique, parfois détaillé, mais jamais plus normalisé. Le designer, ce faisant, dépasse les usages théoriques des objets médiateurs et tire plutôt parti de toutes leurs spécificités, en fonction des objectifs qu'il poursuit.

Il semblerait donc que la conception préliminaire en design industriel, si elle se définit toujours par la recherche conceptuelle d'une solution à un problème posé, doit étendre ses frontières pour y intégrer

- des considérations non seulement esthétiques et fonctionnelles mais aussi techniques, de montage et de production ;
- un usage opportuniste tant du dessin à main levée que du logiciel de Conception Assistée par Ordinateur, en réponse à ces considérations ;
- et donc, en conséquence, des sessions de travail (individuelles mais aussi collaboratives) telles que celles de PRO\_COLLAB qui n'intègrent plus les seules compétences du designer et qui considèrent conjointement une multitude d'objectifs et de thématiques sémantiques.

Les boucles itératives qui viennent d'être rapidement décrites nourrissent directement notre scénario global (cf. figure 84) et ses quatre sous-phases. Mais avant d'étudier en détail ces phases et leurs implications pour les usages des objets médiateurs, approfondissons les nouveaux potentiels des outils de CAO et étudions les qualités *esquissées* et *détaillées* dont il vient d'être question.

## 2.2. Nouveaux potentiels pour les outils de Conception Assistée par Ordinateur

Notre chapitre introductif a déjà largement fait état des nouveaux usages des logiciels de CAO. Leur intégration dans les pratiques quotidiennes est de plus en plus forte, les compétences neuves de dessinateurs/modélisateurs sont requises dans tous les secteurs, quelle que soit la taille de l'entreprise, et s'il arrive que les designers prennent le relais par défaut (faute de collègues disponibles), il est plutôt de plus en plus courant de les voir volontairement prendre possession de ces outils pour en exploiter les potentialités. Les expertises et la répartition des tâches évoluent en parallèle. Un sujet dit à ce propos : *«il m'a fallu, il y a dix ans, un an pour apprendre ce logiciel. Aujourd'hui les stagiaires s'en sortent en 15 jours»*.

Nous avons observé l'usage des logiciels de CAO au cours des trois premières études (PRO\_COLLAB, PRO\_DUO et ANOTO), les contextes expérimentaux des deux dernières n'en permettant pas l'usage. C'est au travers des études PRO (= PRO\_COLLAB + PRO\_DUO) que nous avons récolté les données les plus écologiques (les usages au cours d'ANOTO nous ayant été rapportés au cours des réunions de débriefing par le designer lui-même). La figure 95 démontre à quel point le dessin reste primordial pour les tout débuts de la phase de conception préliminaire (symbolisés par PRO\_DUO) mais montre également que la CAO peut très rapidement prendre une place importante à un stade un plus avancé de cette même phase (49 % des actions codées ont lieu sur la CAO durant PRO\_COLLAB).

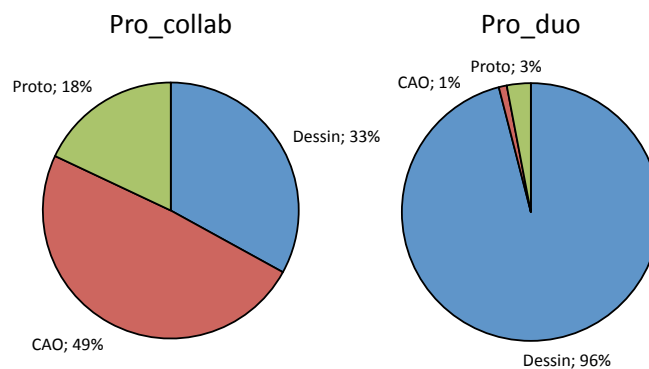


Fig. 95 - Répartitions en pourcentage d'actions des usages des trois principaux outils médiateurs, chez Pro\_collab et Pro\_duo.

---

La figure 96 montre à quel point la CAO (et, à une moindre mesure, les prototypes) peuvent effectivement supplanter le dessin lorsqu'ils sont à disposition des designers. En comparant les données issues de TRAGERE (où l'accès à la 3D numérique ou physique est rendu impossible) et celles de PRO, on réalise que la fonctionnalité de visualisation dynamique de la CAO 3D vient compléter les possibilités offertes par la perspective (axonométrique) et l'élévation dessinée. Tout en gardant à l'esprit qu'une large part des occurrences de PRO est issue de PRO\_COLLAB et figure donc à une phase plus avancée de la conception préliminaire, on observe effectivement que les logiciels de CAO sont exploités en soutien à la conception mais aussi et surtout à l'itération et la modification<sup>3</sup>. Ils restent malgré tout impuissants dans des phases de cristallisation et de gel des attributs ou dans un support comparatif de variantes «pense-bête».

---

<sup>3</sup> Nous ne considérons pas ici la production, absente de Tragere et qui reste évidemment un phase dans laquelle les atouts de la CAO sont principalement exploités. De même, nous ne tirons aucune conclusion quant au support à la communication et au questionnement : le contexte de revue de conception collaborative de Pro\_collab (et, dans une moindre mesure, le contexte de travail en binôme de Pro\_duo) ne permet effectivement pas une comparaison avec les sessions individuelles de définition des concepts de Tragere.



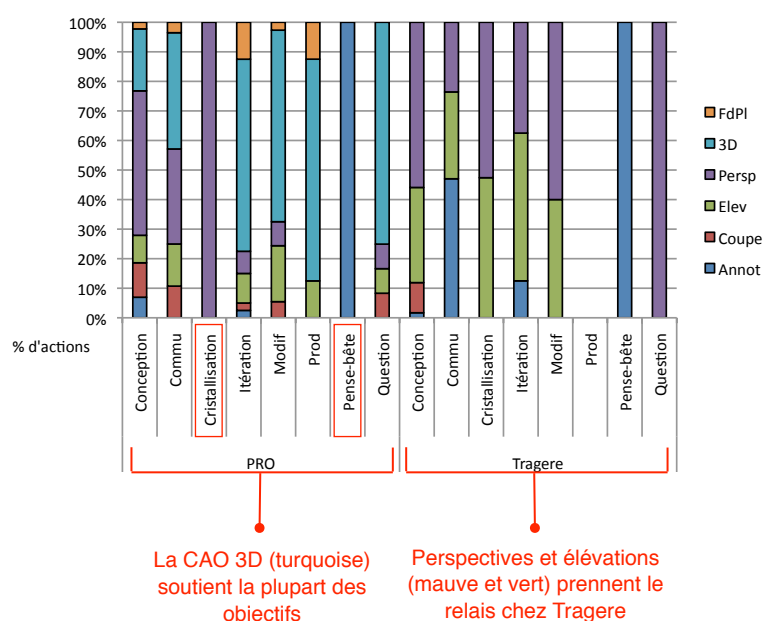


Fig. 96 - Certains types de représentations soutiennent préférentiellement certains objectifs. [Annot] = Annotation ; [Elev] = élévation ; [Persp] = perspective ; [FdPI] = dessin sur fond de plan. En abscisse, [Commu] = communication ; [Prod] = production.

Parmi les deux figures suivantes, issues de PRO\_COLLAB uniquement, la figure 97 nous confirme le potentiel de la CAO à soutenir l'itération (46,5 % des occurrences itératives relevées), mais aussi l'évaluation (40,5 %) et enfin, bien que dans une moindre mesure, la génération des concepts (20,6 %). La seconde figure, qui traduit le second sens de lecture du tableau croisé dont sont issues les données, confirme l'importance de cette fonction d'évaluation (en vert) : au sein de toutes les occurrences d'usage de la CAO relevées, 44,1 % sont une évaluation directe d'une des qualités (fonctionnelle, proportionnelle, faisabilité technique, ...) du produit en cours de conception. Le prototype est également largement exploité dans ce sens, mais la figure 97 nous rappelle que les designers n'y font appel que dans 18,9 % des cas.

Cette même figure suggère que la validation des concepts est largement soutenue par le dessin, tandis que la figure 98 nous rappelle que la validation ne constitue que 6,2 % des actions codées. Cette mise en perspective de la double lecture des tableaux croisés rappelle l'attention que l'on doit constamment leur porter.

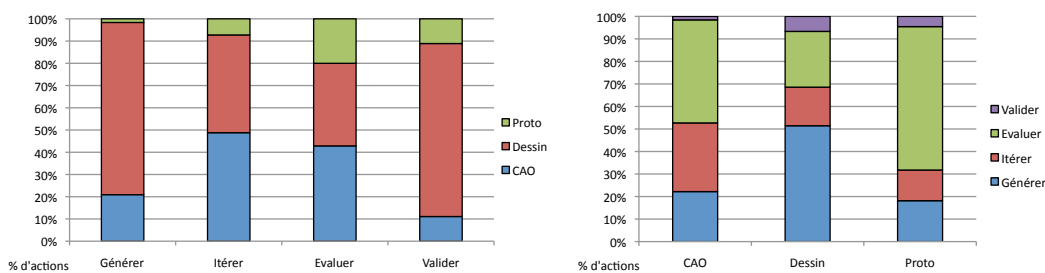


Fig. 97 (gauche) et fig. 98 (droite) - Les usages de la CAO au travers des quatre principales phases de la conception, chez Pro\_collab.

La figure 99 témoigne encore du potentiel des outils de CAO à soutenir les phases préliminaires de la conception industrielle : parmi toutes les occurrences relevées chez PRO\_COLLAB, la CAO remplit certes son rôle dans la spécification et la mise en détail des produits, mais participe également à la définition des fonctions généralisées (7,4 % des occurrences CAO) et des caractéristiques physiques (32,4 %), dont on rappelle qu'elles constituent le niveau d'abstraction le plus largement développé en design industriel.

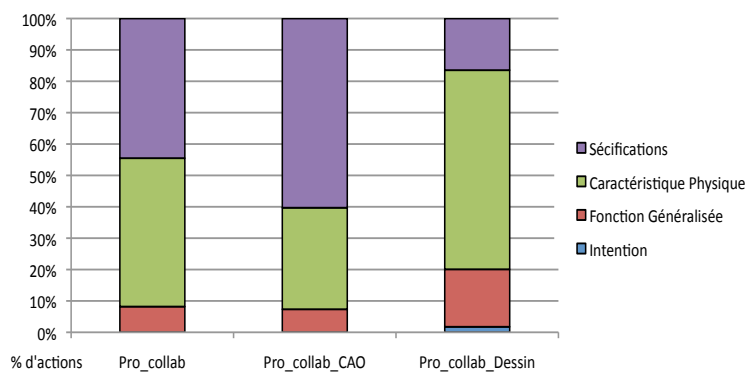


Fig. 99 - Répartition des niveaux d'abstraction au sein des deux principaux objets médiateurs, chez Pro\_collab.

Nos résultats en design industriel concordent donc avec la perception qu'ont certains auteurs d'un usage émergent de la CAO (cf. section 3.5.2 du chapitre deux). Les outils de Conception Assistée par Ordinateur participent de plus en plus tôt au processus de conception préliminaire et jouent en rôle particulier dans l'évaluation précoce du produit.

### 2.3. Les niveaux «esquissés» et «détaillés» des représentations externes

Les niveaux *esquissés* et *détaillés* ont été codés de façon à capturer, au sein des représentations générées, les niveaux d'abstraction graphiques atteints. Ainsi, les représentations dessinées qui comportent des traits flous, hésitants, un niveau de détail limité et un caractère incomplet sont classifiées *esquissées*. De même, les modèles 3D qui sont rapidement exécutés, sans prendre garde aux cotations finales ou productives et que l'on peut de ce fait associer à un registre projectif (voir figure 94 et section 4.1 du chapitre 2) sont considérés comme étant des *modélisations esquissées*. A l'opposé, les dessins présentant un haut degré de finition (présentant beaucoup de détails et de soin à la réalisation, parfois réalisés aux instruments mais sans pour autant devenir «industriels», c'est-à-dire ne constituant pas une mise en plan de production finale), qu'ils soient formels ou techniques, sont codés comme *détaillés*, au même titre que les modèles 3D de production (qui restent largement prédominants, cf. figure 100).

L'esquisse et le détail sont différemment supportés par certains types de dessins : la coupe et le fond de plan<sup>4</sup>, par exemple, semblent être de bons candidats au soutien d'une pensée détaillée. L'élévation et la perspective semblent plus «flexibles», puisqu'elles se développent sans distinction dans les deux modes, en fonction des besoins (figure 101).

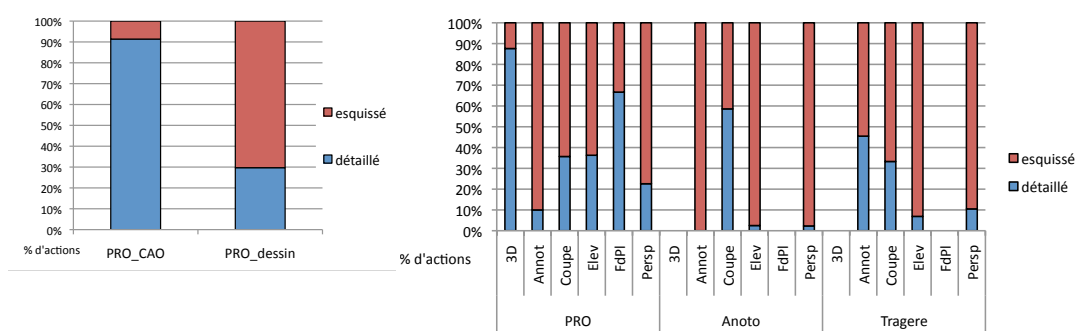


Fig. 100 (droite) et 101 (gauche) - Les niveaux esquissés et détaillés surgissent tant dans les modèles CAO que dans les dessins à main levée.

La figure 103 atteste encore, s'il le fallait, du caractère hautement opportuniste et ouvert de la conception préliminaire : les allers-retours entre niveaux esquissés et détaillés sont constants (surtout pour PRO\_COLLAB), mais apparaissent aussi aux débuts des processus (voir les courbes rouge et mauve de PRO\_DUO et TRAGERE). Notons cependant que pour les études PRO (PRO\_COLLAB et PRO\_DUO), 75 % des actions codées en phase de génération sont esquissées et que cette proportion diminue avec

<sup>4</sup> Les fonds de plans ne sont pas exploités dans Anoto ni Tragere (limitation des dispositifs d'entrée)

l'avancement du projet (38,6 % en itération, puis 22,7 % en évaluation et enfin 11 % en phase de validation).

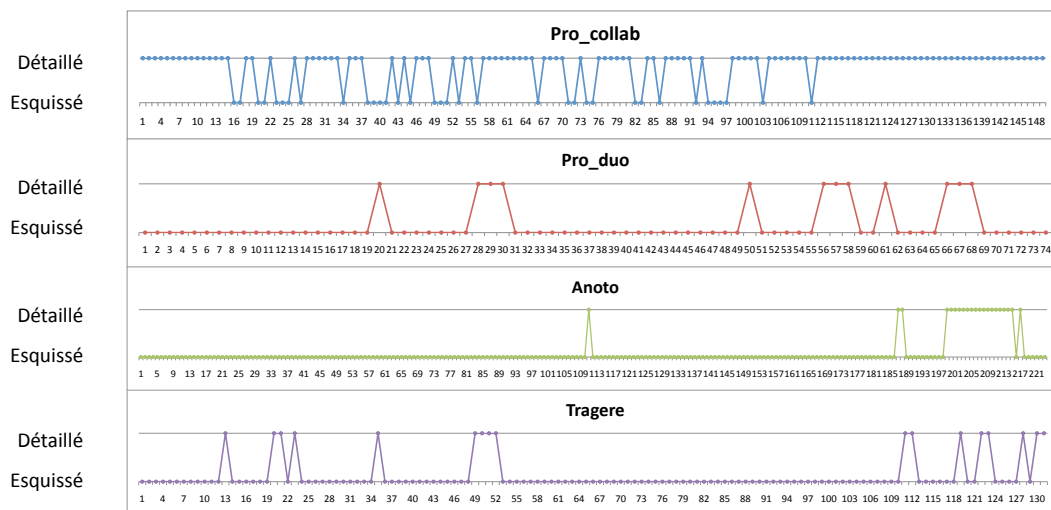


Fig. 103 - Va et vient chronologique entre les niveaux «esquissés» et «détaillés» des externalisations.

Ces notions de représentations *esquissée* et *détaillé* soutiennent autant les concepts formels que technologiques. Si le premier diagramme (figure 104) présente des proportions que l'on pourrait considérer comme logiques (les représentations détaillées sont largement technologiques - en rouge ; les représentations esquissées sont le plus souvent formelles - en bleu), la figure 105 nous apprend cependant qu'une proportion non négligeable des représentations techniques sont supportées par une externalisation esquissée, tandis que les aspects formels d'un projet sont vraiment plus rarement portés à un niveau de détail élevé (les représentations formelles quasi photo-réalistes, telles qu'on peut les voir dans certains livres de vulgarisation, étant donc presque absentes des pratiques professionnelles quotidiennes). Il ne faut donc pas confondre la sémantique sous-jacente d'une représentation et son niveau d'abstraction de réalisation graphique.

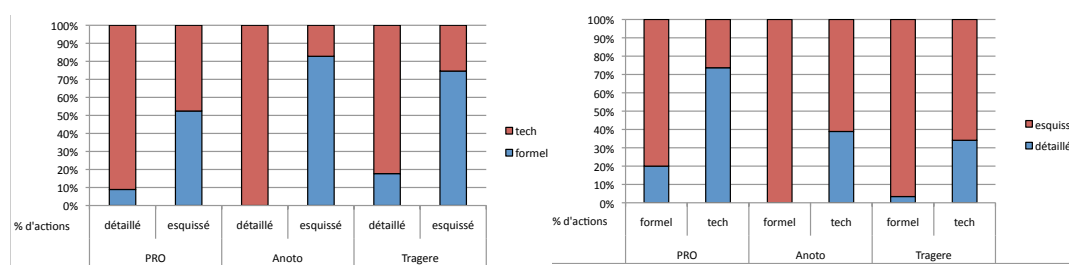
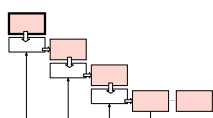


Fig. 104 (gauche) et 105 (droite) - Les deux lectures du tableau croisé révèlent les répartitions détaillé/esquissé au sein des stades formels et conceptuels des projets.

Les notions de dessins et modèles *esquissés* et *détaillés* semblent répondre aux nouveaux usages observés : ils traduisent les rôles que ces objets médiateurs peuvent jouer aux différents stades du processus et qui dépassent les traditionnelles dichotomies encore souvent relevées entre le *dessin* vu comme l'outil privilégié de la conception préliminaire, flou et imprécis, et la *CAO*, vue comme l'outil privilégié de la mise en détail.

### 3. Conceptualisation et esquisse du projet



Cette section développe tous les résultats qui s'intègrent dans la première phase de notre scénario global (figure 84, également résumé via l'icône ci contre), à savoir la conceptualisation et l'esquisse du projet.

Nous nous plaçons temporellement à l'instant où le designer, ou l'équipe de conception, reçoit le cahier des charges ou le brief du projet. Que la conception soit routinière (PRO\_COLLAB), innovante (PRO\_DUO), ou de «re-design» (ANOTO) et que le projet soit assigné à un individu ou à un groupe, un partage des tâches (dans un mode de conception distribuée) survient généralement après une première phase de synchronisation et d'échanges d'idées (via la technique du brainstorming par exemple). Chaque sujet va, en fonction des objectifs qui lui ont été assignés, développer les premiers concepts personnellement. Il peut le faire via des dessins rapidement exécutés ou des modélisations esquissées. Si le dessin fait encore largement partie des pratiques à ce stade, nous avons également noté que les dichotomies entre *designers qui dessinent vs. designers qui modélisent* ne sont plus aussi fortes, les pratiques se lissant avec l'évolution des expertises et des méthodes d'enseignement.

Le mode de sélection de l'un ou l'autre objet médiateur peut dépendre du «type de conception» (conversation réflexive avec la représentation ou externalisation d'une image mentale forte) tel que nous l'avons observé dans PRO\_DUO ou TRAGERE.

Cette phase se caractérise par de nombreux allers-retours entre une large variété d'externalisations (papier, numérique ; 2D, 3D ; ...) qui affinent peu à peu la construction et la sélection individuelle de la variante (plus rarement des variantes) qui sera ensuite proposée au groupe pour évaluation. Le succès remporté par la variante soumise à évaluation dépend de plusieurs critères, plus ou moins saisissables :

- cette part encore mystérieuse de «créativité», qui dépend des compétences propres, du contexte local, du type de projet, ... et dont l'étude sort du cadre de ce travail ;
- la manière dont les contraintes du cahier des charges ont été énoncées, capturées et traitées, puis réintroduites dans une vue d'ensemble du projet pour être équilibrées les unes par rapport aux autres.

Cette phase peut être très courte, principalement dans des contextes collaboratifs, mais peut aussi être très longue et engager de nombreux efforts. Elle reste inévitable,

quel que soit le type de conception : même si le processus est initialement défini comme collaboratif et même si l'on se trouve à un stade avancé du projet, les mécanismes de négociation et de partage des idées font tôt ou tard appel à des mécanismes individuels d'externalisation des idées.

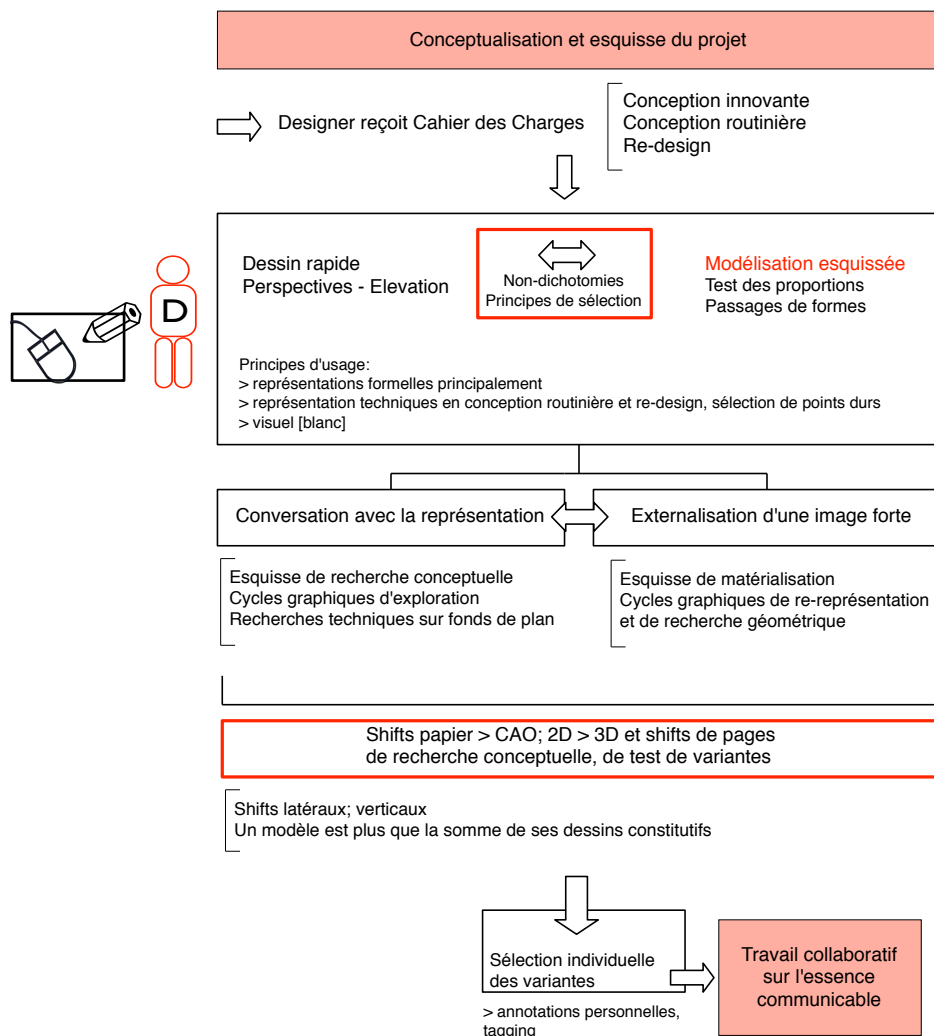


Fig. 106 - Première phase du scénario global : conceptualisation et esquisse du projet. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.

Les sections suivantes discutent les trois principaux aspects de cette première phase de la conception préliminaire, à savoir :

- les qualités respectives des objets médiateurs et les principes de leur sélection ;
- les deux types de conception et leur influence sur les pratiques et les usages des objets ;
- ces shifts entre objets qui structurent et nourrissent le développement du produit.

### 3.1. Les objets médiateurs en conceptualisation et les principes de sélection

Cette section fait état des qualités respectives des deux principaux objets médiateurs utilisés durant ce premier stade de conception (le dessin rapide, esquissé et la modélisation esquissée) et des principes qui régulent leur sélection. Nous rappelons que, en respect du parti théorique que nous avons construit en section 6.2 du chapitre 2 (et qui s'est confirmé au cours des études, notamment PRO\_COLLAB), il n'est pas question ici de favoriser un objet médiateur par rapport à un autre ou de les comparer selon une approche dichotomique, mais plutôt de lister leurs qualités respectives et complémentaires.

En adoptant cette approche des complémentarités, nous traduisons également les nombreuses polysémies relevées dans le secteur et dont il a déjà été question en section 1.6.2 du chapitre 2. Les designers ne différencient effectivement pas le terme «esquisse» du terme «dessin» ou «modèle» : pour eux, l'esquisse est plutôt un stade conceptuel, qui peut tirer parti de toute forme d'externalisation pourvu qu'elle soutienne efficacement les objectifs poursuivis. Nous observons également que les concepteurs ne différencient pas la conception formelle de la conception technologique. Dans le même esprit, ils ne s'encombrent pas, comme Achten, Dorst, Stappers et de Vries (2005) le soulignaient déjà, d'une conscientisation des niveaux d'abstraction dans lesquels ils évoluent, même si ces différents niveaux existent et sont bel et bien détectés. Il n'est donc pas rare de voir un designer travailler des hauts niveaux d'ambiguïté avec des représentations formellement précises (fonds de plans techniques imprimés, modèles 3D de production d'un précédent projet, ...) ou au contraire de croquer soudainement, dans le coin d'une feuille remplie de variantes à peine dévoilées, un concept très clair et très détaillé.

Cette section, tenant compte de ces variabilités, tentera donc dans un premier temps de positionner les deux principaux objets médiateurs l'un par rapport à l'autre, afin de mieux comprendre ce qui justifie leur sélection, pour ensuite rentrer dans l'étude de leurs spécificités (sans paraphraser cependant ce qui a déjà été dit dans la section 3 de l'état de l'art).

Nous rappelons au lecteur que nous positionnons notre discussion dans un épisode particulier de la conception préliminaire et que nos résultats ne sont donc valables qu'au sein de cette phase.

#### 3.1.1. Approche comparée des spécificités des objets médiateurs

Quel que soit le type d'objet médiateur sélectionné, plusieurs observations générales peuvent être faites. Premièrement, les deux objets médiateurs supportent principalement, aux tout débuts de la conception, une approche formelle et globale. Les figures 107 à 109 proposent une comparaison inter-études qui supporte ce constat : PRO\_DUO, ANOTO et TRAGERE, qui se positionnent effectivement dans cette phase de conceptualisation, présentent une approche résolument formelle (bleu sur

figure 107), largement soutenue par des représentations esquissées et globales, tandis que pour PRO\_COLLAB, que nous observons à un stade plus avancé du processus, les proportions s'inversent.

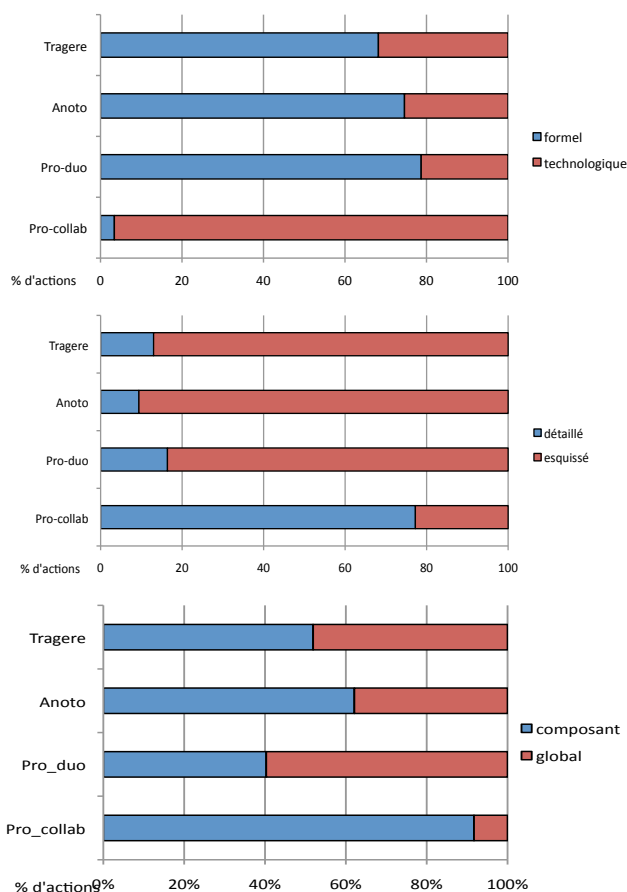


Fig. 107 (haut), 108 (centre) et 109 (bas) - Les représentations formelles, esquissées et globales de la première phase de conceptualisation et esquisse du projet.

Ensuite, le visuel à ce stade est principalement simple et «blanc» (sans couleurs particulières, ni pour distinguer les différentes parties, ni pour apporter une qualité esthétique au formalisme de la représentation). Si nous n'avons pu coder cet aspect que pour les deux premières études (le formalisme visuel de ANOTO et TRAGERE étant influencé par les dispositifs d'entrée), la figure 110 suffit cependant amplement à confirmer cette tendance : pour PRO\_DUO, le visuel en maquette en blanc domine, ce qui n'est plus le cas pour PRO\_COLLAB (à un stade plus avancé de la conception préliminaire), où la couleur et le photo-réalisme font leur apparition.



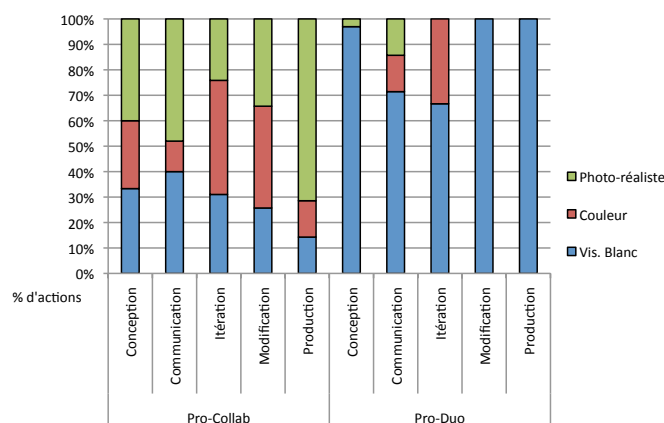


Fig. 110 - Un formalisme coloré et photo réaliste pendant la revue de conception ; visuellement blanc pour la conceptualisation du projet.

Un dernier point commun entre l'usage des deux principaux objets médiateurs à ce stade tient en la prégnance des représentations tri-dimensionnelles en conception industrielle, comme annoncé dans la section 2 du chapitre 2. Cette prégnance se traduit par une forte proportion de perspectives chez PRO\_DUO, ANOTO et TRAGERE et par la prépondérance de la 3D numérique ou physique (via les protos) chez PRO\_COLLAB (figure 111).

Notons que cette particularité représente une des différences majeures entre design et architecture. En architecture, Leclercq (1996) prouve que [la perspective] «illustre des informations soit déjà acquises en plan et en élévation, soit parfaitement rendues par ces mêmes représentations graphiques» (p. 170). Il la qualifie en conséquence d'«image plus forte que le projet» (p.171).

La perspective constitue par contre pour le secteur du design industriel un outil indispensable et crucial pour le développement du produit et ce dès les premiers stades de la conception préliminaire.

L'externalisation de la perspective s'accompagne toujours de déformations et distorsions, mais (Gallina, 2006) rappelle que ces distorsions ne seraient pas liées à l'incapacité à imaginer correctement, mais plutôt à l'incapacité d'externaliser (de dessiner) correctement<sup>5</sup>.

Rappelons également que d'après (Self, Dalke, & Evans, 2009), la CAO 3D supporte des représentations plus ambiguës que la CAO 2D et que la 3D serait un des meilleurs moyens de figurer les concepts (cf. section 4.3 du chapitre 2), tandis que

<sup>5</sup> Il résume plusieurs recherches et rappelle effectivement que la structure spatiale, la notion des distances, la rotation et les topologies sont conservées fidèlement dans l'imagerie mentale.

pour (Blavier, 2006) les avantages de la 3D seraient plus marqués pour les tâches de plus grande complexité.

La figure 111 révèle également la faible proportion d'annotations au sein du processus. L'analyse qualitative de l'étude ANOTO leur a pourtant associé un rôle structurant au sein de la pratique observée (au même titre que la cristallisation ou la prégnance de primitives de base), confirmée par les verbalisations des concepteurs au long des quatre études. Nous réalisons, à cette occasion encore, à quel point une approche qualitative des données peut s'avérer cruciale, en complément de ce qu'une approche quantitative veut bien révéler.

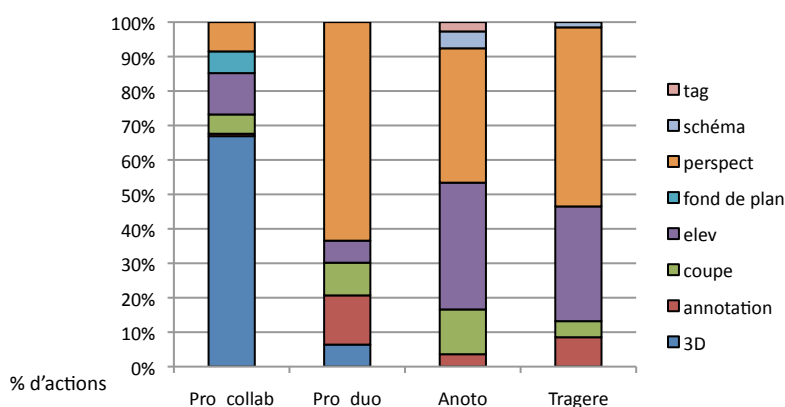


Fig. 111 - Prégnance des objets médiateurs tri-dimensionnels en conception industrielle et faible proportion d'annotations. [perspect] = perspective ; [elev] = élévation.

L'analyse des critères qui motivent la sélection des croquis ou des modélisations esquissées peut se faire à plusieurs niveaux. La figure 112 rappelle que les représentations dessinées (coupe, la quasi totalité des élévations<sup>6</sup> et la perspective) soutiennent activement la conception en général (voir bleu) et constituent les seuls outils disponibles pour la cristallisation, tandis que les représentations tri-dimensionnelles numériques et physiques soutiennent l'itération et les modifications, entre autres. Perspectives, élévations et représentations tri-dimensionnelles sont en outre les plus largement représentées dans la figure 113, qui témoigne de leur multifonctionnalité en terme du modèle intentionnel poursuivi.

6 Si des représentations dessinées plus complexes, telles que des vues explosées ou des coupes 3D, avaient fait leur apparition au cours du processus, nous les aurions bien entendu intégrées dans nos valeurs de codage et codées. Ces représentations n'ont cependant jamais été exploitées et n'apparaissent sans doute que dans des cas très précis de re-représentation du projet à des fins éducatives et/ou communicatives.

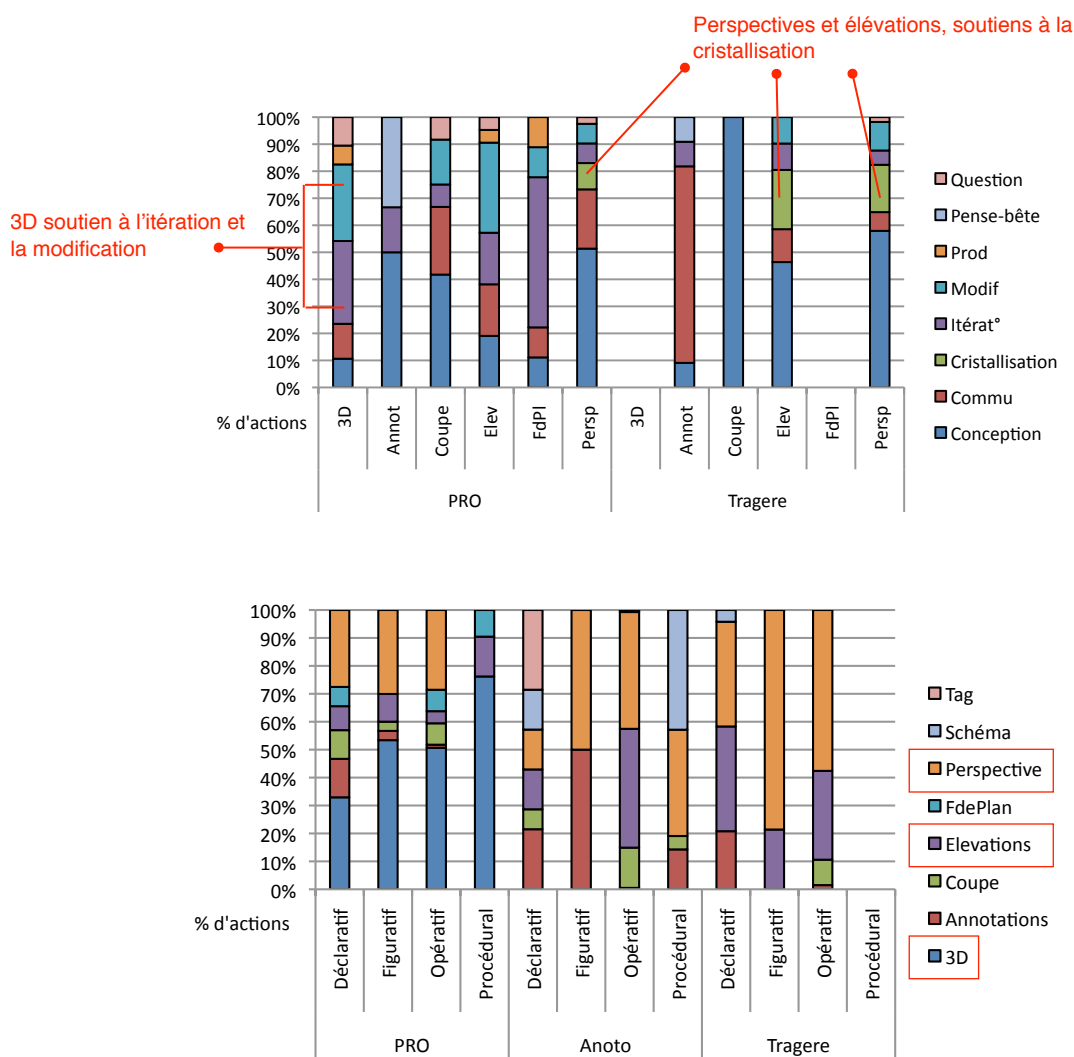


Fig. 112 (haut) et 113 (bas) - Critères de sélection pour les objets médiateurs (outils et représentations).

La figure 114 nous donne plus d'information quant à l'utilité de chaque type d'externalisation. Retenons que la coupe peut efficacement soutenir une sémantique plus technique lorsque nécessaire (montage, assemblage, ...), que l'élévation voit son rôle évoluer d'un extrême à l'autre en fonction des contextes tandis que la perspective semble se stabiliser autour de questions esthétiques et fonctionnelles.

La figure 115 quant à elle confirme que les perspectives et élévations constituent des moyens d'externalisation très polyvalents : si elles sont préférées lorsque des questions plus formelles se posent (bleu), elles peuvent tout autant soutenir le développement de questions techniques lorsque nécessaire.

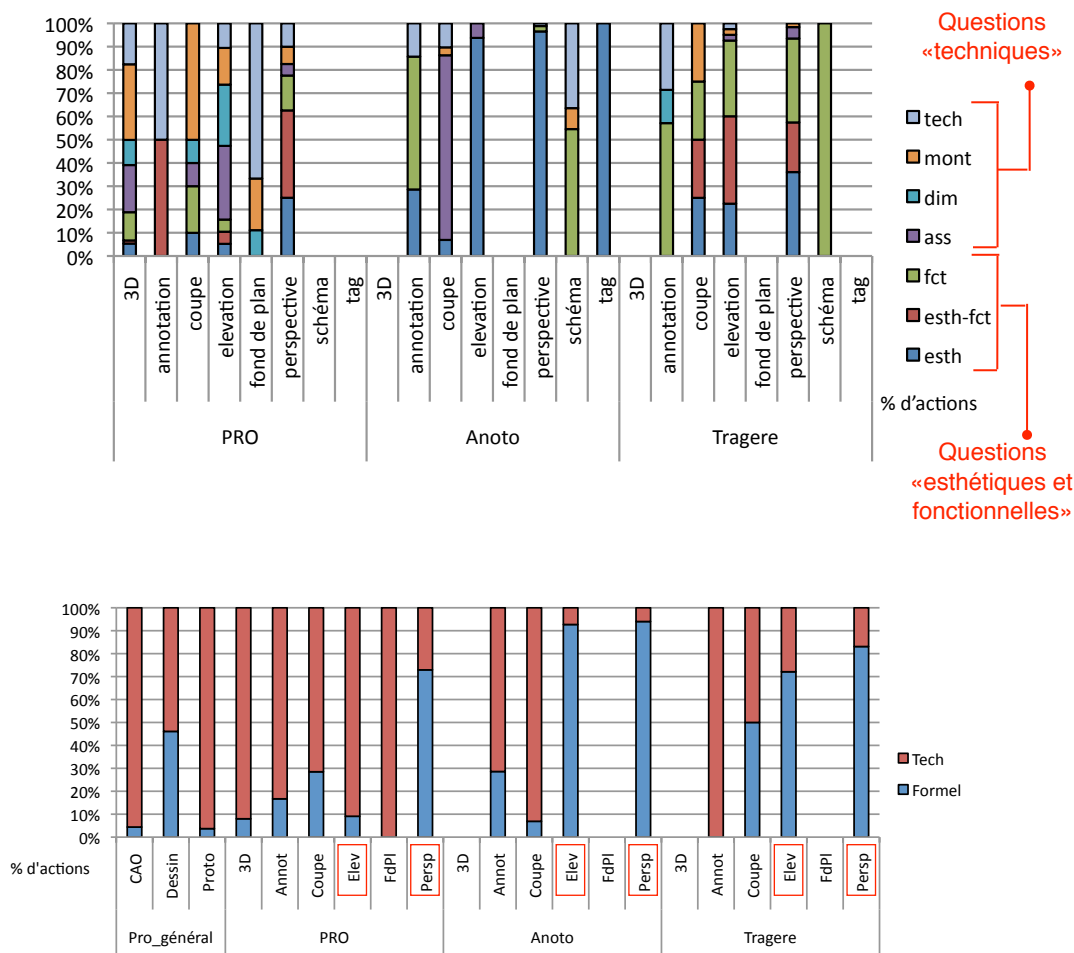


Fig. 114 (haut) et 115 (bas) - Polyvalence des perspectives et élévations.

Elévations, perspectives et annotations sont les meilleurs vecteurs des hauts niveaux d'abstraction (dessins vagues et flous de recherche hautement conceptuelle, en bleu et rouge) tandis que les coupes, en accord avec ce qui vient d'être dit, sont efficaces pour soutenir des niveaux plus bas et détaillés (voir mauve et vert sur la figure 116). C'est également le cas des fonds de plan chez PRO\_COLLAB, où l'on observe de plus que la 3D (CAO ou proto) soutient tout de même un peu moins de 10 % d'actions de type «fonction généralisée».

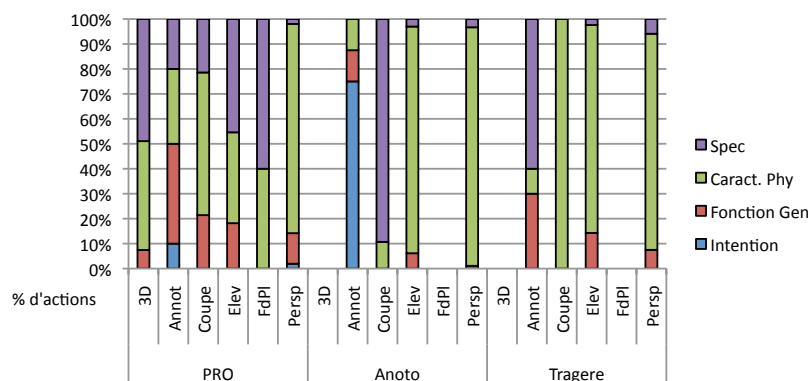


Fig. 116 - Niveaux d'abstraction distinctement soutenus par les différents types d'externalisations.

Un dernier graphique complète notre compréhension des mécanismes de sélection (figure 117) : la troisième dimension numérique ou physique est particulièrement appréciée pour les possibilités de visualisation dynamique qu'elle offre, mais aussi pour l'aisance de gestion des conflits des pièces, pour des questions relatives à la production<sup>7</sup> et enfin pour son soutien à la communication. La perspective dessinée se dégage également comme étant un fort vecteur de la communication et est appréciée pour sa rapidité d'exécution (qui est l'atout majeur de toutes les représentations dessinées). Les élévations, quant à elles, complètent les atouts des fonds de plan en terme de gestion et d'évaluation des conflits.

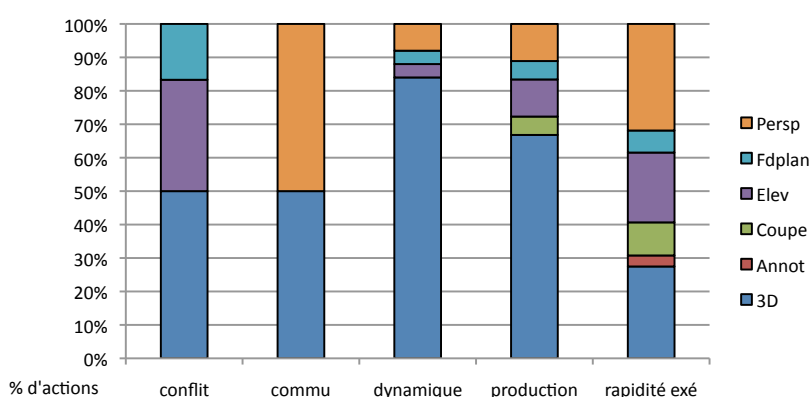


Fig. 117 - Qualités opératoires des différents objets médiateurs chez PRO. [commu] = communication ; [rapidité exé] = rapidité d'exécution.

7 Une large part des occurrences est relatives aux prototypes physiques, dans ce cas.

Les critères de sélection mis en lumière ici diffèrent de ceux suggérés par Weytjens, Verdonck et Verbeeck (2009). Ces auteurs se concentrent sur des critères de sélection tels que l'aisance d'interprétation des résultats, la facilité d'usage et de gestion de l'interface ou encore le prix. Notre approche, complémentaire, est plus opérative : nous nous intéressons plus à ce qui provoque l'usage des objets médiateurs au sein de la pratique professionnelle, en laissant de côté les critères qui justifient la toute première adoption par exemple.

Soulignons que les principes de sélection en situation individuelle sont plus dépendants des desiderata propres du sujet concerné qu'en situation collaborative. Nous verrons effectivement que la sélection en groupe dépend elle de l'historique du projet et d'un compromis entre toutes les expertises en présence. Ajoutons enfin que quel que soit l'objet médiateur sélectionné, un critère crucial en conceptualisation du projet est de pouvoir stocker une idée floue, y revenir aussi souvent que nécessaire, pour la redécouvrir et la ré-interpréter.

### 3.1.2. Caractéristiques et utilités du dessin rapide

La qualité principale du dessin, outre sa rapidité d'exécution, est de pourvoir un environnement propice aux représentations floues et au test de variantes. Si c'est certainement pour ces qualités qu'il a longtemps été considéré comme le seul outil valable en conception préliminaire, nous verrons plus tard qu'un autre «type» de conception peut justifier les potentialités nouvelles qu'à la CAO au même stade.

Le dessin rapide (figure 118), et plus particulièrement l'élévation et la perspective, sont efficaces en soutien de la conception du produit global. La figure 119 suggère que les toutes premières phases de la conception préliminaire se concentrent sur la mise au point de formes et concepts globaux (ANOTO et TRAGERE) tandis que les composants surviennent dans les phases ultérieures de cette conception préliminaire (PRO\_COLLAB, avec sa revue de conception collaborative). La coupe semble par ailleurs toute indiquée en soutien des composants. Les résultats de PRO\_COLLAB tendent à rappeler que parmi toutes les représentations, les modèles 3D sont ceux qui soutiennent encore les aspects globaux d'un projet même à un stade avancé de la conception (figure 119).

Les fonds de plans quant à eux présentent l'avantage de combiner l'expression libre du dessin à main levée avec le modèle comparable et «form-safe» d'un plan plus technique (Eissen & Steur, 2008). La figure 120 traduit particulièrement bien cette double fonction : ici le fond de plan devient non seulement le support du dessin, mais se laisse détourner et déformer en une perspective rapidement improvisée. Cette polyvalence du fond de plan et, plus largement, du dessin transparait également dans l'extrait suivant :

*«Pierre : c'est peut-être faux de dire qu'un dessin n'est que de la perspective : parfois on démarre en 2D et puis alors hop ! je fais ça, je triche et ça redevient de la 3D, alors qu'au départ mon intention c'était de faire de la 2D.*

*E : donc dans votre tête c'est en 3D et ça arrive sur le papier en 2D d'abord ?*

*Pierre : non non non !*

*E : ah, dans votre tête c'est de la 2D aussi ?*

Pierre : *heu ...je ne sais pas. C'est que ... il faut que mes yeux voient, quoi. C'est comme parfois, une maison ça peut être beau... on peut voir beaucoup de choses en élévation et parfois on a envie de la faire en perspective. [...] Je pense que tout est intéressant ... il ne faut pas ... c'est comme si vous me disiez est ce qu'il faut une seule voiture dans le couple ? ou une petite et une grosse ? il faut de tout ! on peut pas s'arrêter à dire je veux de la 2D... heu... Il faut de tout. C'est important de faire parfois une vue 2D et parfois une vue 3D».*

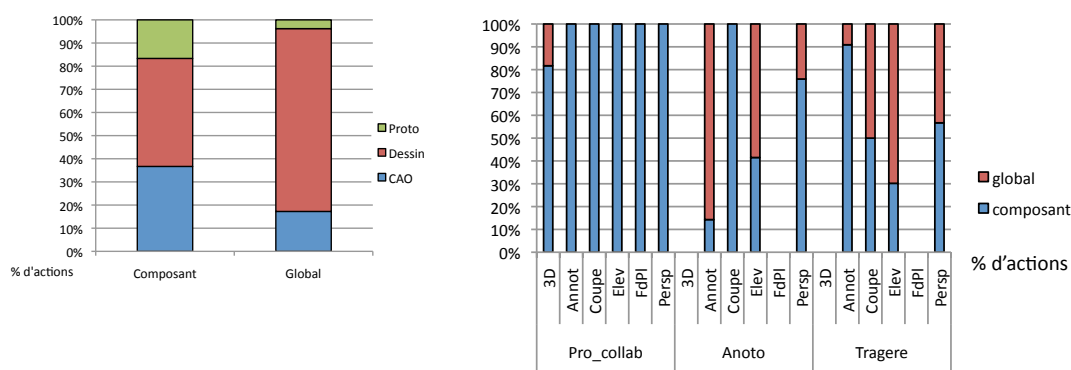


Fig. 118 (gauche - PRO) et 119 (droite) - Efficacité du dessin à soutenir l'aspect global du projet.

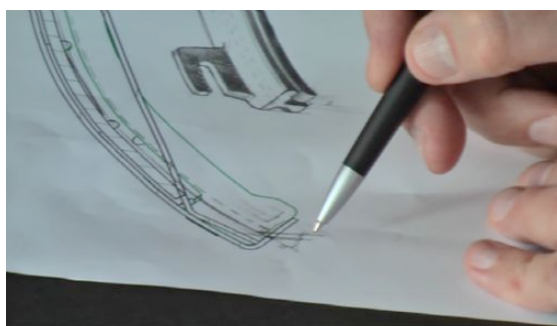


Fig. 120 - Expression libre du dessin sur la structure «sécuritaire» du fond de plan imprimé et «fausse perspective» (un trait tiré à la verticale développe le vue du haut en une vue tri-dimensionnelle).

Nous retiendrons du diagramme suivant que la variété des externalisations effectivement incluses dans l'outil dessin le rendent finalement beaucoup plus flexible et polyvalent que la CAO ou le prototype (figure 121). En effet, les outils d'annotation numérique par exemple existent et sont intégrés aux logiciels de CAO, mais ils ne respectent pas la fluidité de pensée du concepteur et n'ont en tout cas pas été déviés par ces derniers car ils restent quoiqu'il arrive trop complexes à utiliser.

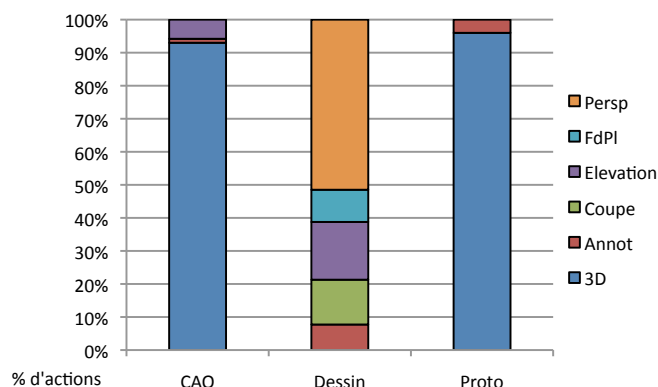


Fig. 121 - La multitude des «sous-outils» du dessin le rendent polyvalent et flexible (données issues de PRO).

Un atout crucial du dessin et dont il a déjà été question plus haut est la cristallisation et le gel des attributs. La cristallisation peut débiter par une répétition de traits qui, au contraire de l'over-tracing, se conclut pas l'emphase (l'épaississement) d'un trait particulier que l'on désire particulièrement faire ressortir. Ce trait constitue un moyen rapide et efficace de «cristalliser» une idée, une variante complète, un profil. La cristallisation, si elle est disponible en CAO (via des épaisseurs de traits, des gestionnaires de calques etc.), n'est en tout cas jamais exploitée dans cet environnement (cf. figure 112). Le gel des attributs est quant à lui énormément complexifié par les fonctions de paramétrisation : la modification que l'on fait subir à une pièce paramétrée entraîne chez toutes ses voisines (liées) des mouvements et déformations qui, si ils peuvent provoquer des alertes du système, restent difficiles à contrôler et à tracer historiquement.

Ces traits cristallisés, qu'ils soient directement matérialisés sur le papier ou le résultat d'une répétition de traits plus légers (ou flous), se retrouvent à presque toutes les phases de la conception (figure 122). Ils prennent de plus une importance croissante avec la diminution du niveau d'abstraction, au fur et à mesure qu'ils participent à la matérialisation du projet en gestation (figure 123). Soulignons également, en conception de fonctions généralisées, la présence de primitives géométriques de base.



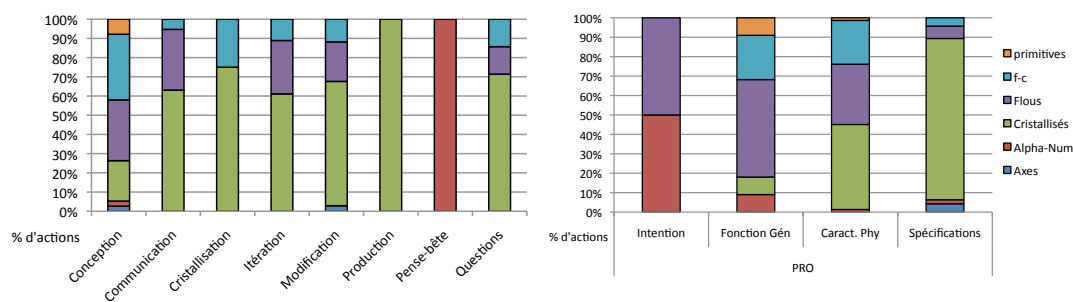


Fig. 122 (droite) et 123 (gauche) - Prénance et importance des traits cristallisés pour la matérialisation de l'intention (chez PRO). [f-c] : cycles rapides de traits flous puis cristallisés ;[Alpha-num] : alpha-numérique.

La cristallisation reste le moyen le plus efficace de sélectionner rapidement une variante au sein d'un ensemble plus complexe (figure 124), ou de faire ressortir une particularité que l'on veut garder visuellement en mémoire (figure 125).

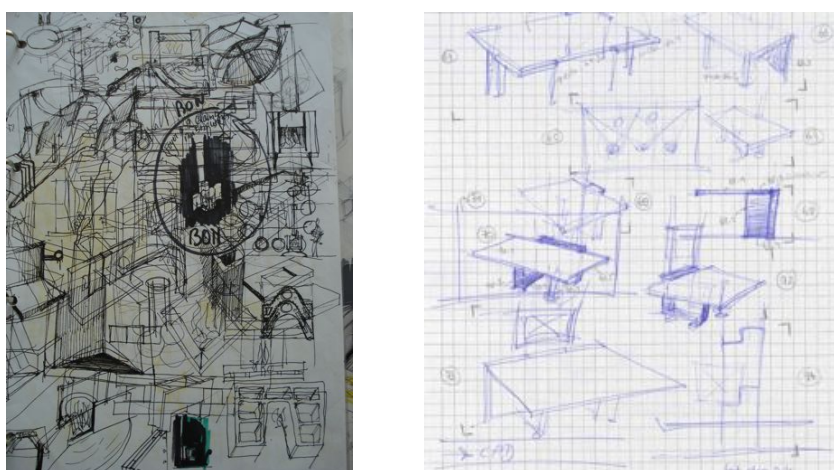


Fig. 124 et 125 - La sélection et désignation graphique via la cristallisation.

Elle peut aussi aider le designer à très rapidement tester plusieurs variantes (figure 126).

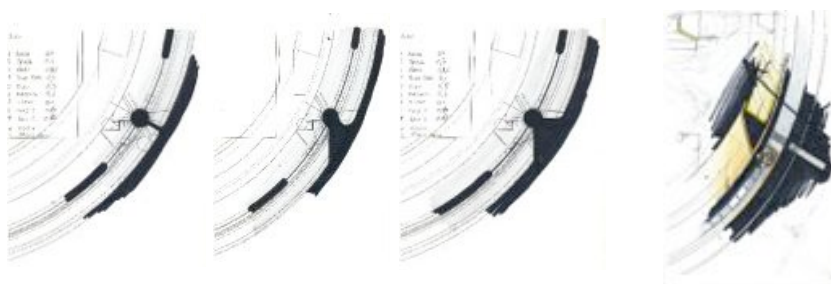


Fig. 126 - Un fond de plan imprimé plusieurs fois et quelques coups de marqueur suffisent à cristalliser puis évaluer plusieurs propositions formelles et / ou techniques.

La cristallisation peut aussi se matérialiser par des hachures. Dans un extrait de la conception chez ANOTO (analysé chronologiquement en rejouant les traits), le designer commence par dessiner une table classique, avec des pieds droits (marqueurs 48 à 49.1, figure 127). Il revient alors sur son croquis numéroté 48 et décide subitement de placer plutôt des pieds triangulaires. Il cristallise cette décision via des hachures et cette cristallisation est confirmée par l'ajout de transfert n°49.3. Cet exemple, certes local, répond cependant à la question posée par Tovey & Richards (2004) en section 3.3.1 du chapitre 2 : le dessin est ici généré en l'absence de tout référent «client» ou «collaborateur» ce qui laisse donc à penser que la hachure est bel et bien utile à un niveau individuel d'utilisation (et non pas exclusivement comme outil de communication).

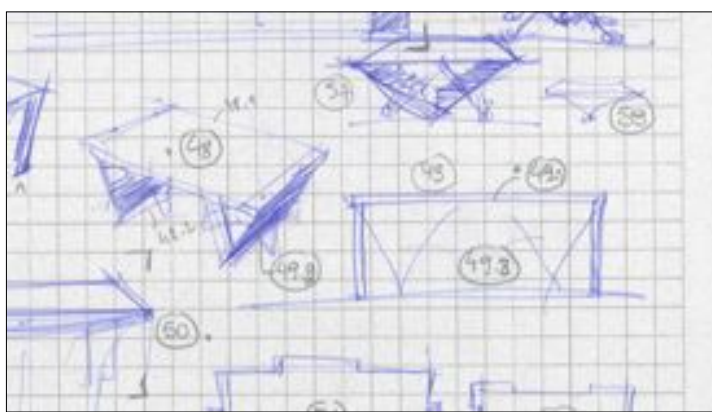


Fig. 127 - Transfert d'une représentation à une autre et cristallisation via hachures.

### 3.1.3. Caractéristiques et utilités de la modélisation esquissée

Les outils de CAO trouvent une utilité nouvelle en conceptualisation du projet au travers des modélisations *esquissées*. Ces modèles, rapidement exécutés<sup>8</sup> et qui intègrent tout au plus quelques cotes rondes de «sécurité», servent principalement à tester des proportions, évaluer dynamiquement une variante et mieux contrôler certains aspects plus difficilement soutenus par le dessin (tels que les passages de forme). Le modèle est ainsi non seulement esquissé dans son aspect global<sup>9</sup> (primitives simples pour une rapidité d'exécution, pas de détails etc.) mais aussi dans son utilité : il est l'esquisse d'un concept en gestation.

On perçoit ici très nettement la différence qui existe avec les usages de la CAO en architecture, résumés dans (Leclercq, 2005). Cet article liste de façon très précise les avantages et limitations de la CAO dans ce secteur particulier et nous devons admettre

---

8 Soulignons que le designer d'Anoto, que l'on peut qualifier d'expert, esquisse en 29 minutes pas moins de 5 variantes, dont deux qui sont modélisées rapidement via Vectorworks. Cette exécution très rapide, tant du dessin que des modèles, révèle l'efficacité avec laquelle certains designers exploitent les outils à leur disposition.

9 Rappelons que visuellement, pourtant, un modèle esquissé peut paraître identique à un modèle global plus détaillé (voir section 4.1.4 chap. 3, Anoto)

que la plupart de ces observations, même si l'on sait maintenant qu'elles doivent être relativisées au vu des nouvelles pratiques numériques, sont toujours vraies. Les questions de «maîtrise dimensionnelle préalable», de «contenu systématiquement complet» et «intégralement explicité» ne s'adaptent cependant pas au design industriel. Nos observations et l'émergence de ces modèles esquissés nous apprennent effectivement que le designer peut se détacher de ces pré-requis : certaines parties du modèle peuvent être à peine figurées (zones de non-définition) et le modèle peut évoluer dans le temps (il ne doit donc pas être explicitement et préalablement défini).

Parallèlement à ces modèles «testeurs d'idées», les environnements CAO proposent une structure juste, «franche» pour l'évolution d'un futur dessin. Si ils ne soutiennent pas le flux naturel de la pensée aussi efficacement que le croquis (en n'autorisant pas de courbes folles par exemple), ils offrent par contre des courbes et formes parfaites, propres et «tendues», qui deviennent des repères très utiles par la suite pour le dessin sur fond de plan imprimé. Un des sujets affirme que ce transfert est «*le dialogue entre la recherche conceptuelle du dessin et la perfection géométrique offerte par le CAO*». Soulignons cependant que cette grande précision est considérée comme fourbe par certains sujets : le programme propose par exemple des angles de dépouille ou des profils géométriques standardisés, qui peuvent restreindre le concepteur dans son idéation et limiter la génération d'autres variantes (*negative premature fixation*, voir section 3.4.3 chapitre 2).

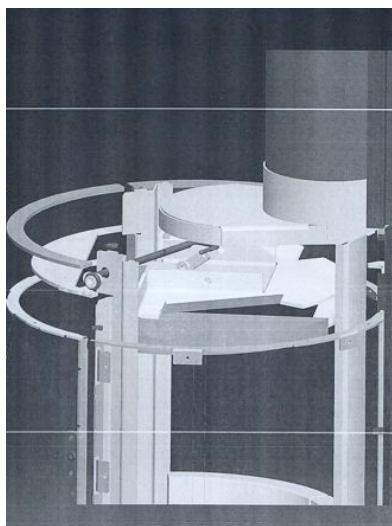
Avant d'entrer dans le détail des caractéristiques des modèles esquissés, on peut en interroger leur relative fidélité : constituent-ils une déviation de l'usage originellement prévu par les développeurs ? Si les modèles esquissés permettent, comme cela était prévu, de tester les cohérences, d'anticiper certaines configurations et impacts d'éléments sur d'autres, ils n'exploitent pourtant pas certaines fonctionnalités de base, comme la conception paramétrique (Robertson & Radcliffe, 2009). On peut donc les considérer, par certains de leurs aspects, comme une forme de déviation d'usage.

La fonction d'évaluation et de contrôle précoce des modèles esquissés est une caractéristique constante que l'on relève dans pratiquement toutes les verbalisations (et qui est soutenue, pour rappel, par les figures 97 et 98). Un designer dit à ce propos : «*on quitte très vite le dessin, pour contrôler, parce que si je vais trop loin dans le dessin, si ce n'est pas réaliste, j'ai perdu mon temps*». Les contraintes, qui peuvent être révélées via la visualisation dynamique, le conflit des pièces et les proportions «justes», participent au développement des idées et à la sélection de la variante la plus adaptée.

Une seconde caractéristique tient en la possibilité d'exploiter *un environnement pré-existant*. Celui-ci peut se matérialiser de diverses façons :

- le designer peut disposer, dans le cas d'un re-design ou d'une conception à cahier des charges contraint, de quelques cotes-repères de départ (généralement rondes) qui structurent le projet (c'est souvent le cas en design automobile, par exemple). Ces cotes et «points durs» (points de passage obligés et/ou limites extérieures infranchissables d'une forme), qui se traduisent parfois par des «boîtes englobantes» dans l'environnement 3D, constituent pour le designer un futur environnement de travail (un espace cadré) dans lequel il va pouvoir faire évoluer ses idées ;
- dans le cas d'un re-design encore, le designer peut même disposer d'un modèle 3D existant, base préalable qui va structurer son travail (qu'il doive ré-évaluer la forme entière ou simplement y intégrer une pièce) ;
- le designer peut enfin, volontairement, se définir lui même des primitives géométriques de structure (cela se fait souvent dans le design de mobilier par exemple, ces primitives constituant le garde-fou à ne pas dépasser au risque de ne plus respecter les dimensions anthropométriques de référence).

Ces environnements pré-existants peuvent également nourrir la mise au point de fonds de plan (base de futurs dessins esquissés), qui sont toujours des élévations ou coupes 2D (les visualisations 3D imprimées étant quasiment inutilisables, cf. figure 128).



*Fig. 128 - Une vue 3D imprimée, illisible et inutilisée.*

Ces fonds de plan, à leur tour, révèlent des complexités qui ne peuvent être résolues que dans l'environnement dynamique. Ces résolutions constituent la dernière caractéristique que nous listons ici : il s'agit de la conception de forme complexe ou, dans le jargon du secteur, du «passage de forme» (la transition géométrique complexe qui peut exister entre deux formes). L'exemple typique qui nous a été systématiquement donné est le passage de forme entre l'assise et le pied d'une chaise :

si la connexion peut bien sûr être simplissime, elle peut également introduire des courbes et inter-pénétrations qui en complexifient le profil. Un des passages de formes les plus difficiles est la ligne de raccord entre deux surfaces. Si elle est généralement négligeable dans la conception d'un corps de chauffe, elle devient cruciale pour des produits à plus petite échelle et doit être gérée par le designer lui-même. La conception du raccord, de ses lignes de forces, de la fibre neutre aura un impact sur la manière dont la lumière se réfléchira sur la surface et ne peut effectivement pas être laissée au hasard. Ces problématiques, que l'on aurait pu croire secondaires, interviennent bien au contraire très tôt dans la conception de certains objets (en injection plastique, par exemple, cf. figure 129). On voit bien apparaître sur ce dessin ce que les designers appellent les *lignes de force*, traits de structure qui participent à la définition du profil. Ces lignes se retrouvent dans une majorité de dessins à main levée et aident le collègue dessinateur, comme nous le verrons, à capturer la volumétrie de l'objet.

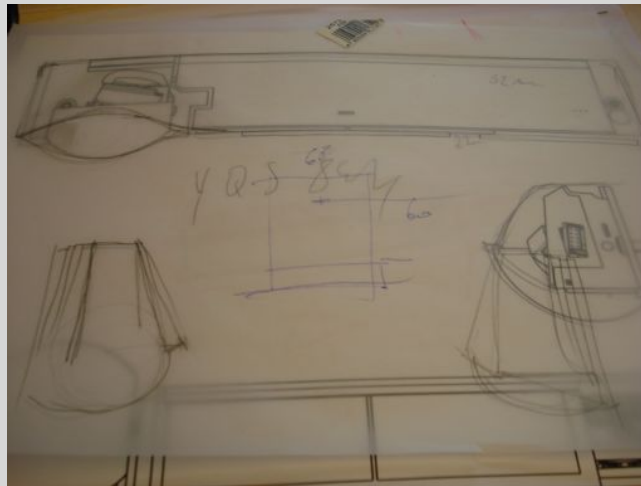


Fig. 129 - La ligne de raccord, les lignes de force et la problématique du passage de formes.

Nous notons, au fil d'une conversation, que si le dessin et son caractère statique ne soutiennent pas la conception de ces passages de forme, la CAO ne la soutient pas totalement efficacement non plus. La visualisation dynamique, indispensable pour s'assurer de la cohérence de la forme, n'est pas facilitée par la navigation à la souris dans l'espace tri-dimensionnel.

*Un autre exemple d'un passage de forme...*

Le produit à re-concevoir ici est un détecteur de passage pour ouverture et fermeture automatique de portes. L'objet doit être placé au dessus de la porte, doit inclure la technologie de détection de la manière la plus esthétique possible et doit rester discret. Le designer part du fond de plan du produit pré-existant et propose une forme plus aérodynamique et arrondie. Celle-ci optimise l'angle nécessaire au passage des ondes et se lisse ensuite en un parallélépipède rectangle plus simple.



*Fig. 130 - Un passage de forme complexe entre sphère et parallélépipède.*

C'est précisément pour ce passage de forme, entre sphère et parallélépipède, que la CAO a démontré toute son utilité : si le calque apposé sur le fond de plan laissait à penser que la solution trouvée était simple et réalisable, la modélisation rapidement esquissée a révélé que certains angles de dépouille (indispensables pour un démoulage aisé de la pièce injectée) n'étaient pas respectés. Cette contrainte technique révélée a eu un impact direct sur l'aspect formel et technique de l'ensemble du produit.

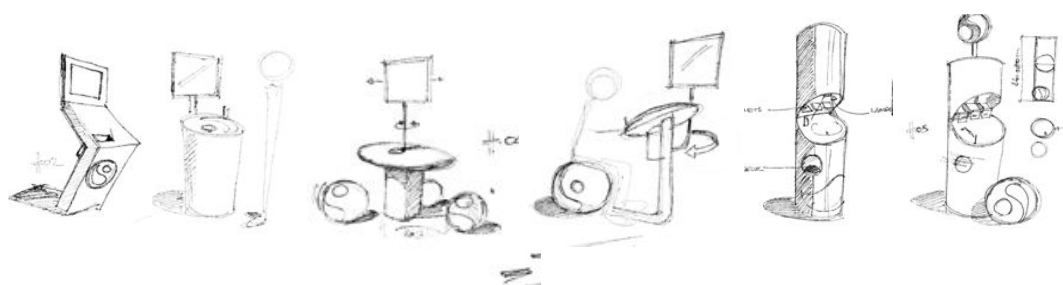
### 3.2. Les deux types de conception : la conversation réflexive et l'externalisation d'une image mentale

L'étude PRO\_DUO nous a fourni la première piste qualitative d'une distinction supplémentaire qui peut être faite entre deux méthodes particulières de conception préliminaire : la conception préliminaire par conversation réflexive et la conception préliminaire en externalisation d'une image mentale forte.

Nous observons que les deux objets médiateurs dont il vient d'être question (dessin esquissé et modélisation esquissée) peuvent se positionner dans ce nouveau modèle de la conception préliminaire.

Cette section s'attèle à présenter ces deux types de conception et à évaluer l'impact qu'ils ont sur les usages des objets médiateurs. L'impact de ces conceptions sera évalué jusqu'à l'échelle fine du trait. Si ces traits et cycles de traits sont abordés dans un premier temps ici, nous avertissons cependant le lecteur intéressé qu'une analyse plus détaillée sera présentée en début de chapitre suivant.

Le concept de conception par conversation réflexive avec les externalisations se construit directement à partir des théories de Schön et Wiggins (1992) (section 1.5 du chapitre 2). Cette conception par conversation se traduit, en pratique, par une esquisse de recherche conceptuelle (formelle ou technique) qui évolue au fil des découvertes qu'elle provoque chez le concepteur (voir figure 131).



*Fig. 131 - Evolution d'un concept de coin jeu (étude Tragere) au travers d'une conversation réflexive avec la représentation. Le cylindre et la sphère apparaissent à plusieurs reprises, pour finalement se concrétiser au sein de la solution finale.*

L'expérimentation TRAGERE nous révèle que cette esquisse de recherche conceptuelle, si elle consiste en un dessin à main levée (sur papier vierge ou fond de plan), se traduit par un cycle graphique d'exploration bien particulier, composé de traits «flous-répétés-cristallisés» (ou «f-r-c», voir figure 132). Un sujet dit à ce propos : «le dessin, c'est de l'auto pilotage à vue», ce qui traduit bien comment les traits flous, de recherche de forme, se répètent, se superposent jusqu'à donner naissance à la courbe cristallisée finale qui détermine le profil.

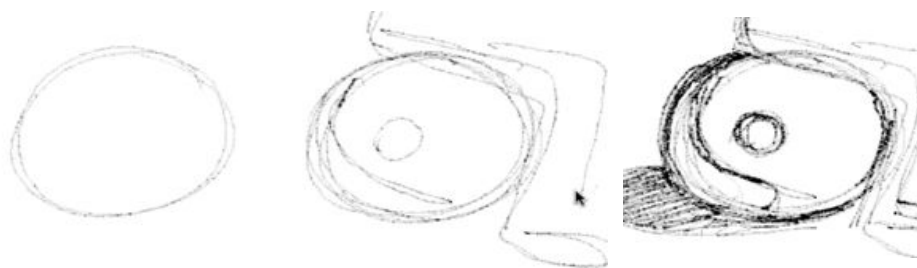


Fig. 132 - Cycles «f-r-c» : traits successivement (de gauche à droite) flous, répétés puis cristallisés.

Ce type de conception peut également se nourrir d'une conception plus numérique, le concepteur exploitant certaines fonctionnalités des logiciels pour voir apparaître des formes inattendues. Elle peut enfin débiter par une des deux externalisations et se matérialiser ensuite sur l'autre, en fonction des besoins.

Dans tous les cas, le mécanisme de *see-transform-see* qui s'instaure entre le concepteur et sa représentation n'est pas seulement évaluatif mais aussi opératif et participe activement à la construction du projet. Ce type de conception est largement répandu (surtout chez les designers qui n'ont pas pu être formés intensivement à l'usage des outils de CAO) et constitue certainement la base de la plupart des théories de la conception.

La figure 133 (et son analyse chronologique, outillée par le stylo Anoto®) constitue un bon exemple d'un tel type de conception. Le designer, qui conçoit plusieurs variantes de bureau virtuel, commence par dessiner un tablier de table, auquel il place des pieds en triangulation (marqueurs 42.1 et 42.2). Il remplace ensuite ces pieds (ou les consolide) avec des pieds droits, en prolongation vers la tête de projection (42.3). Il cristallise le tablier de la table, marque son épaisseur et sa différence de matériau avec quelques hachures. En évaluant la variante ainsi en gestation, il constate une disproportion dans son dessin, qu'il solutionne en agrandissant les supports de la tête de projection (42.6).

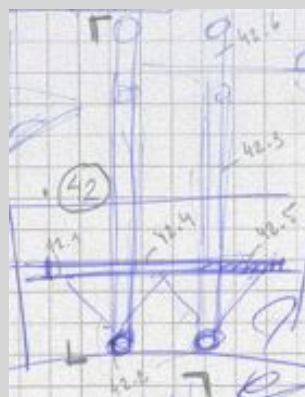


Fig. 133 - Un exemple de conception par conversation réflexive.



Les sections 3.5.1 et 3.5.2 du chapitre deux et leur revue de l'évolution des points de vue portés aujourd'hui tant sur le dessin que sur les outils de CAO nous avaient déjà poussés à suggérer que l'externalisation, à certains stades du processus, pouvait n'être pertinente que dans un rôle de stockage temporaire de l'idée qui germe mentalement. Dans l'état de l'art, nous avons également souligné les travaux de Hanna et Barber (2001), qui proposaient avec pertinence que l'approche «*sketching and then concept formulation*» pourrait devenir une approche «*thinking and then concept formulation*». Ce type de conception, que nous nommons *d'externalisation d'une image mentale forte*, se traduit par une esquisse de *matérialisation* : le concepteur va, dans ce cas, déposer son idée très rapidement sur le support graphique (papier ou numérique) après l'avoir fait évoluer mentalement.

Si cette conception est soutenue par le dessin, nous observons qu'elle correspond à des cycles graphiques différents de ceux développés en conception par conversation. Les cycles de traits «f-r-c», lorsqu'ils apparaissent, se font plus rapides et traduisent plus une recherche de justesse géométrique qu'une recherche conceptuelle. Des cycles de traits «légers-répétés-cristallisés» apparaissent en réalité plus fréquemment (surtout lorsque les sujets développent une aisance à dessiner) : les traits légers structurent la mise au point de la forme externalisée et sont plus assurés que leurs homologues flous.

Outre des cycles de traits différents, nous avons pu observer également d'autres séquences dans l'apparition des formes. En conception par conversation, les techniques graphiques correspondent le plus souvent à ce que l'on apprend traditionnellement dans les hautes écoles (génération des formes globales, axes de structure et primitives de base puis développement des détails). En conception par externalisation, néanmoins, d'autres séquences peuvent apparaître, que nous nommons de «re-représentation».

La figure 134 donne un bel exemple d'une telle séquence : le designer externalise une pièce de mobilier, telle qu'il la désire. Nous observons que le dessin ne se construit tout d'abord pas sur des formes et primitives géométriques de base et qu'il n'utilise pas non plus des cycles de traits «flous-répétés» qui traduisent habituellement la recherche conceptuelle. Les traits sont plutôt «légers - cristallisés» et cette cristallisation (qui arrive généralement tard) survient ici de manière imprévisible, très rapidement. Son dessin ne se construit ensuite pas dans le respect d'une logique de représentation en perspective : il naît d'une façon plus opportuniste, impromptue (un peu à la manière d'un dessinateur de bande dessinée qui croque rapidement son héros favori en commençant par son nez, par exemple). L'externalisation, enfin, est réalisée en quelque secondes (les images sélectionnées correspondant presque à la succession d'images que la caméra est effectivement capable de filmer). Ces indices nous poussent à dire que le processus est très clairement de *re-représentation*, distinct d'un processus de recherche formelle graphique ou d'un processus de recherche conceptuelle.

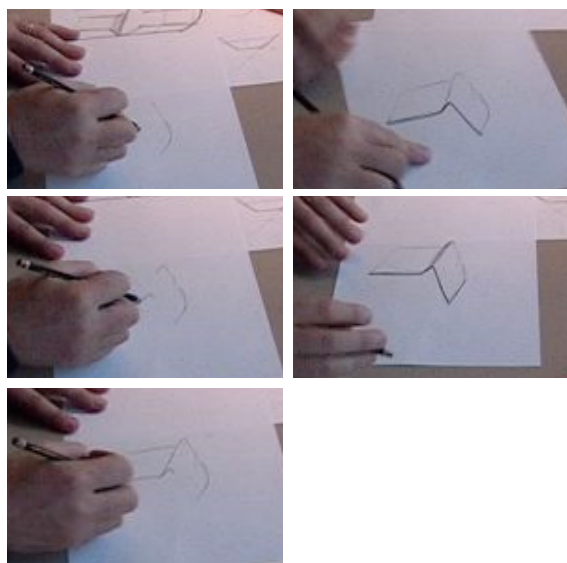


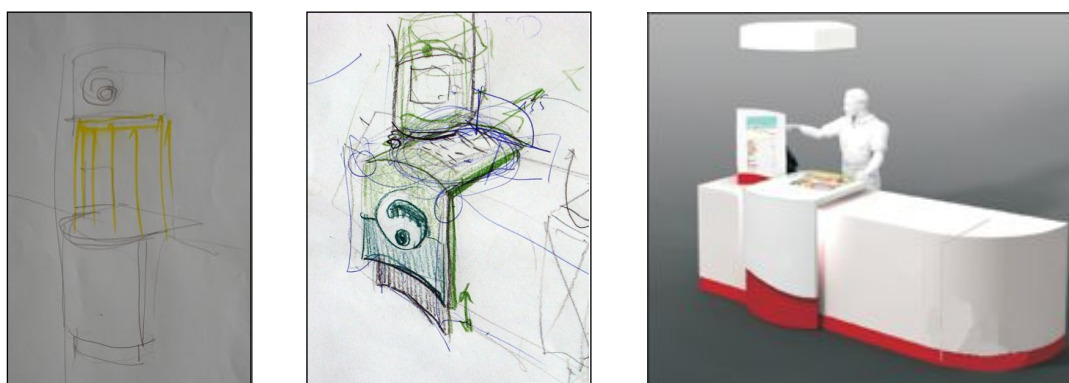
Fig. 134 - Une séquence de re-représentation en conception par externalisation.

Le plus souvent, ce n'est pourtant pas le dessin qui soutient cette externalisation mais plutôt les modèles esquissés. Les concepteurs, pour gagner du temps (s'ils dessinent moins bien, peut-être) transposent leur représentation mentale de l'objet en cours de gestation directement à l'écran. Nous pensons qu'ils désirent ainsi immédiatement évaluer les proportions de leur proposition et profiter des qualités dynamiques de l'outil. Ce phénomène de cristallisation rapide de la forme pour son évaluation pourrait trouver une explication cognitive dans les travaux de Finke et ses collègues (1993, cités dans (Purcell & Gero, 1998)). Ceux-ci ont demandé à des sujets d'imaginer, mentalement (et donc sans support) une forme générale composée d'éléments divers prédéfinis (formes géométriques simples, lettres de l'alphabet). Ils ont découvert que la plupart des sujets, lorsqu'ils devaient décrire oralement le résultat, avaient tendance à «imaginer d'abord une forme générale» qui structurait ensuite les associations, avant même de tenter d'associer mentalement les primitives de base qui leur étaient proposées. Ils ont appelé ces formes les «*pre-inventive forms*» et en ont déduit que «*function follows form*» plutôt que «*form follows function*».

Si nous sommes moins convaincus par cette dernière conclusion (en tout cas dans le contexte de la conception contrainte, où il nous semble rare que la forme soit créée délibérément sans aucun lien avec sa fonction ni ses contraintes), la notion de forme pré-inventive pourrait cependant pouvoir expliquer ce désir qu'ont certains designers de vouloir très rapidement générer et évaluer des configurations à l'écran. L'outil de CAO permet effectivement d'avoir un retour visuel rapide sur une forme globale<sup>10</sup>, dont on peut ensuite tester l'adaptabilité et qui peut également supporter dans un second temps la ré-interprétation et l'émergence d'autres composants.

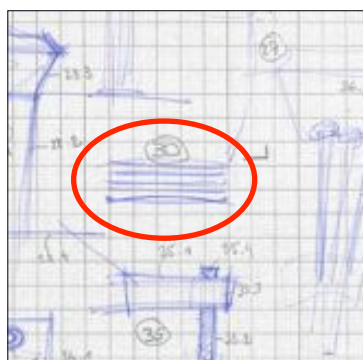
<sup>10</sup> Notons au passage que ce phénomène n'a été observé qu'une fois chez Pro\_collab (au contraire des autres études) et que cela explique pourquoi la figure 119 démontre que la CAO, chez Pro\_collab, soutient principalement la conception de composants.

Ce phénomène de conception par externalisation est bien traduit par deux exemples : le premier est issu de l'étude PRO\_DUO, le second de l'étude ANOTO. Chez PRO\_DUO, le profil directeur (ou parti conceptuel) se matérialise par une intention forte («*on coiffe et pose sur*») et par le dessin (le concept est rapidement croqué aux tout débuts du projet, figure 135). Le concept évolue quelque peu au fil de l'état d'avancement (figure 136) mais est finalement cristallisé quasiment en l'état dans les toutes dernières phases du projet (figure 137).



*Fig. 135, 136 et 137 - La matérialisation d'un profil directeur, qui va se développer pour se retrouver quasi à l'identique à la fin du projet.*

Chez ANOTO, l'externalisation se répartit entre les deux objets médiateurs. Un premier minuscule croquis esquisse à peine un concept de tête pour le bureau virtuel (voir croquis entouré sur la figure 138) et ce concept sera immédiatement transposé à l'ordinateur pour être évalué. Aucun dessin n'est nécessaire pour la colonne ni pour la table, le designer semble avoir une idée très précise de ce qu'il veut développer. Le premier modèle esquissé soutiendra le développement conceptuel d'autres variantes, présentées dans la figure 139.



*Fig. 138 - Le croquis d'un concept, à peine esquissé.*



*Fig. 139 - La matérialisation et l'évolution du concept via la CAO.*

En dehors de ce cas particulier, la conception par externalisation se fait préférentiellement via un seul vecteur d'externalisation. Nous n'avons pas pu observer d'autres exemples où les concepteurs externalisaient consécutivement plusieurs idées sur des supports différents, ce qui est plus souvent le cas en conception par conversation. Si de tels échanges s'installent, ils traduisent le plus souvent un shift d'un type de conception à un autre. S'il est fréquent que la cristallisation d'une image mentale forte provoque une ré-interprétation qui ouvre la voie à une conception par conversation, la conversation s'achève également souvent par l'expression rapide d'une variante souvent définitive. C'est le cas chez un jeune stagiaire venu travailler quelques jours sur le projet de mobilier de PRO\_DUO. Il cherche longuement des variantes, qu'il compare visuellement très facilement puisqu'il les dessine sur un support unique. Son trait est fin et neutre, l'absence de cristallisation révèle l'absence d'une préférence (figure 140).



*Fig. 140 - La recherche d'un concept sans expression graphique particulière.*

Soudain, après plusieurs minutes sans activité observable, il semble avoir un déclic : les variantes qu'il vient de dessiner l'inspirent (support visuel à la conceptualisation d'une image mentale), il recommence un nouveau croquis qu'il évalue et auquel il ajoute un détail d'importance, un logo (voir marqueur figure 141). Ce détail exprime l'intérêt qu'il place dans cette nouvelle variante. Il va même la développer en plusieurs vues, pour en affiner de plus en plus le profil. Il va également, pour la première fois, faire usage de la gomme : il sait exactement ce qu'il veut représenter, il n'y a plus de place pour l'à-peu-près ni pour l'erreur de représentation.



Fig. 141 - Le déclic et le logo - la conversation mène à une cristallisation : la boucle de la conceptualisation s'achève.

Au vu de ces observations, la figure 6 de la section 3 du premier chapitre peut être mise à jour : le phénomène de conception par externalisation y trouve sa place, ainsi que le mécanisme d'externalisation de formes (images fortes ou formes pré-inventives).

Profil N°	Relation au dessin à main levée	Relation à la CAO	Type de collaboration avec le dessinateur
1 - sous-traitance CAO	* en conception principalement * cycles itératifs * conversation réflexive	* minimale * évaluation - vérification - communication	* conception distribuée * négociation
2 - itérations en conception préliminaire entre outil de CAO et outil dessin	* en conception + production * cycles itératifs * conversation réflexive ou externalisation image mentale	* en conception principalement * cycles itératifs * conversation réflexive ou externalisation image mentale	* collaboration * co-conception
3 - itérations en conception préliminaire uniquement avec l'outil de CAO	* minimale * croquis pense-bête	* conception + production * cycles itératifs * externalisation image mentale (ou forme pré-inventive) puis conversation réflexive	

Fig. 142 - Panorama retravaillé des profils de designers industriels.

La figure 143, enfin, clôture cette section et résume les apports respectifs des deux principaux objets médiateurs pour chacun des deux types de conception. Dans le cas d'une externalisation d'une image mentale forte, le dessin se distingue par son potentiel d'évaluateur rapide de variantes (notamment en travail collaboratif), tandis que la CAO outille entre autres l'évaluation tri-dimensionnelle des proportions et la réintroduction dans un environnement pré-existant.

Dans le cas d'une externalisation par conversation réflexive avec la représentation, le dessin conserve sa capacité à soutenir la construction progressive d'une externalisation graphique tandis que la CAO peut soutenir la génération de formes pré-inventives, externalisations volumiques qui participent à la progression mentale du projet en cours de gestation.

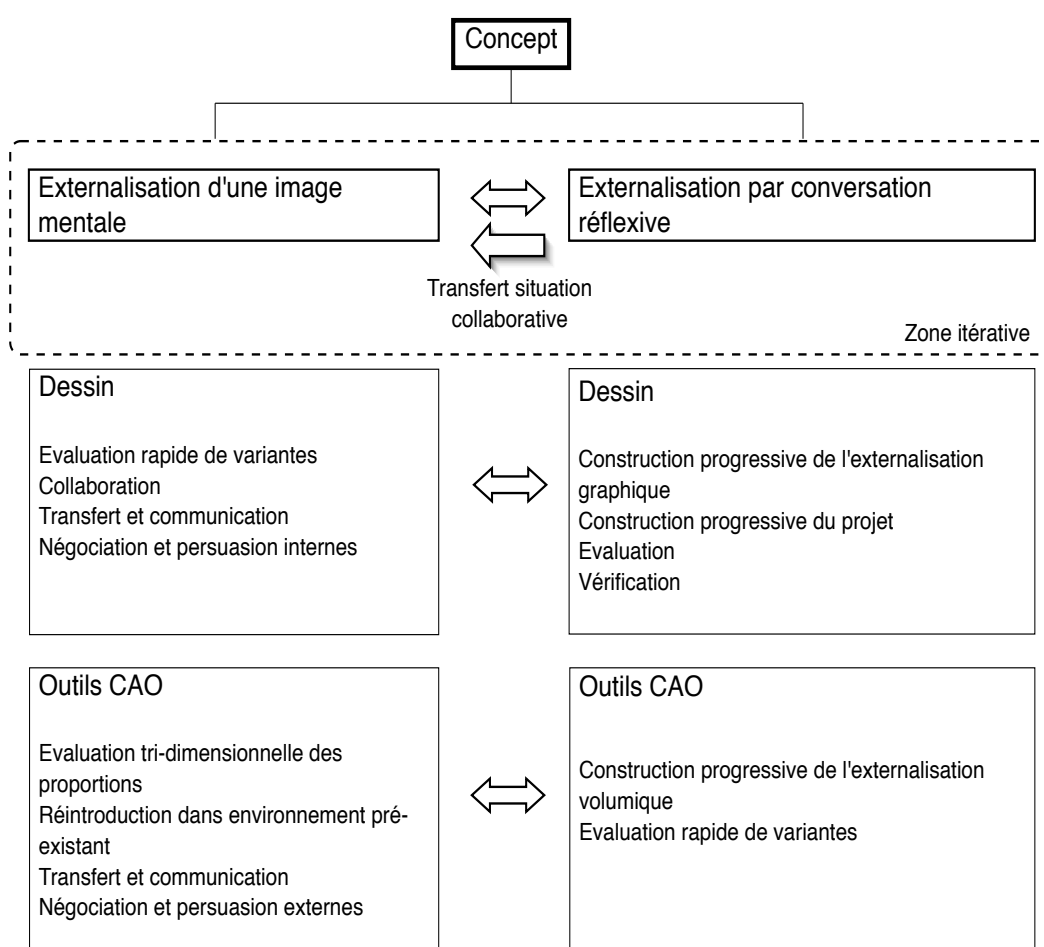


Fig. 143 - Un modèle neuf pour deux types de conceptions préliminaires.

### 3.3. Shifts entre représentations «papier - numérique» et «2D - 3D»

Ce chapitre a déjà fait état des nombreux allers-retours qui structurent le processus de conception préliminaire en design industriel : allers-retours entre objets médiateurs, entre phases de la conception, entre thématiques traitées ou entre niveaux esquissés et détaillés des représentations. Cette section s'intéresse aux transferts qui existent entre types de représentations et types de supports, question d'importance ouverte en section 4.6 du chapitre deux. Les supports privilégiés ici sont bien entendu le papier (support 2D s'il est utilisé à plat ; support 3D s'il devient un outil de simulation, cf. figure 144) et le logiciel de CAO. Les types de représentations pour le papier peuvent être 2D (coupes, élévations, fonds de plan) ou 3D (perspective, le plus souvent axonométrique) et pour la CAO la 3D prend ces qualités de dynamisme et de justesse des proportions, largement appréciées par les concepteurs. Notons au passage que certaines pièces, plus complexes, peuvent être visualisées en coupe ou en élévation (en 2D) via la CAO également, mais que leur modèle «source» est toujours, dans les activités que nous avons observées, tri-dimensionnel.



*Fig. 144 - Les multi-dimensions du papier en tant que support : le designer arrondi légèrement une feuille de papier et la positionne verticalement pour évaluer un galbe.*

La figure 145 présente cette fois les shifts entre types de représentations dans leur déroulement chronologique. La courbe de PRO\_COLLAB fait apparaître de nombreux shifts entre externalisations 3D, coupes et élévations qui se répondent pour la résolution des noeuds techniques en revue de conception. PRO\_DUO fait apparaître en début de processus un cycle de shifts «annotation-perspective-coupe» (marqueur A) : le designer à ce stade teste en perspective ses idées de comptoir, puis en affine le profil sur une coupe lorsqu'il ne parvient pas à explorer correctement sa proposition dans la troisième dimension. La courbe ANOTO est plus régulière : elle débute par un va et vient entre annotations et schémas, puis se structure en un échange entre perspectives et élévations (avec quelques retours vers l'annotation). La courbe de TRAGERE propose une dynamique proche, même si elle intègre bout à bout 12 processus a priori déconnectés.

Les shifts sont nombreux, en réponse aux besoins du concepteur en termes de visualisation et d'idéation. Les figures suivantes vont de plus nous démontrer que

l'objet peut beaucoup évoluer au cours de ces shifts : ce mécanisme de transition entre types de représentations participe activement à la construction du projet.

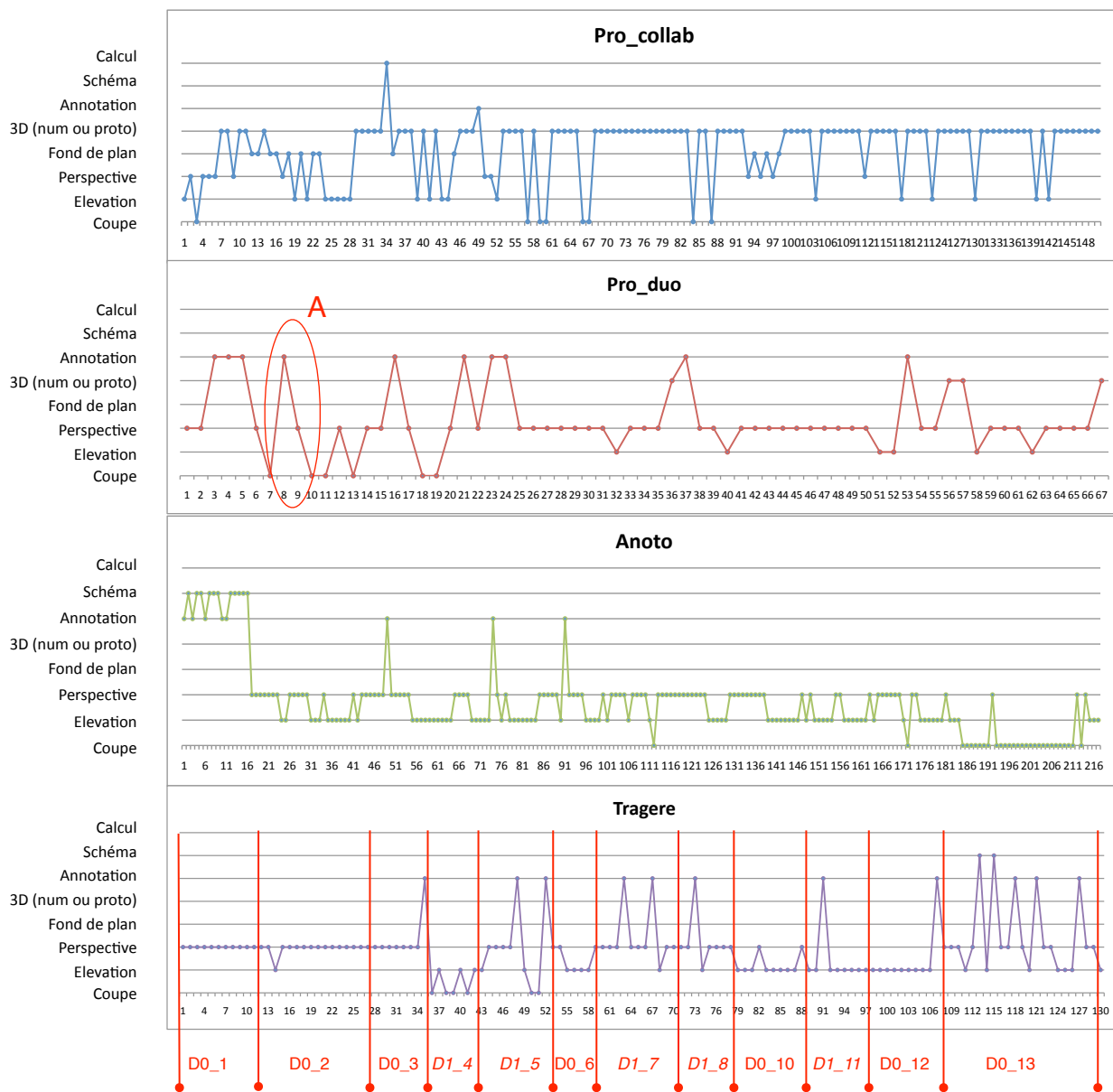


Fig. 145 - Allers-retours entre types d'externalisations. En abscisse, les actions pour lesquelles ces valeurs ont pu être codées.

La figure 146 traduit l'évolution des idées et l'approfondissement des variantes. Elle présente le développement chronologique des transformations latérales et verticales au sein des études PRO. Les transformations latérales sont dominantes chez PRO\_DUO : les recherches de variantes sont donc plus intenses que l'approfondissement et la mise en détail d'une solution particulière, ce qui correspond au contexte particulier du concours où les designers ne disposent que peu de temps et de moyens et



ne désirent pas aller trop loin dans le détail de la conception. Chez PRO\_COLLAB par contre les évolutions entre transformations latérales et verticales sont plus intenses : non seulement les shifts entre variantes et thématiques sont plus nombreux, mais en plus l'approfondissement des questions traitées est plus fréquent. Si l'on rapproche fréquence des shifts entre types de représentations et évolution chronologique des courbes «latéral-vertical», on peut supposer que le transfert d'une représentation à une autre participe autant à la recherche de variantes qu'à l'évolution du projet dans son degré d'abstraction.

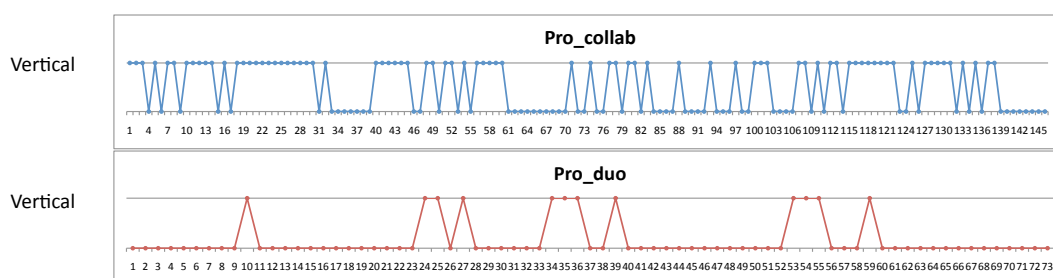


Fig. 146 - Evolution chronologique des transformations latérales et verticales.

Les deux figures suivantes nous indiquent ensuite que les trois objets médiateurs (CAO ; dessin ; proto) soutiennent de manière comparable ces transformations latérales et verticales (figure 147). Plus particulièrement pourtant, l'élévation et le fond de plan semblent plus propices à l'approfondissement d'une idée particulière ; la perspective favorise la recherche plurielle d'idées (figure 148).

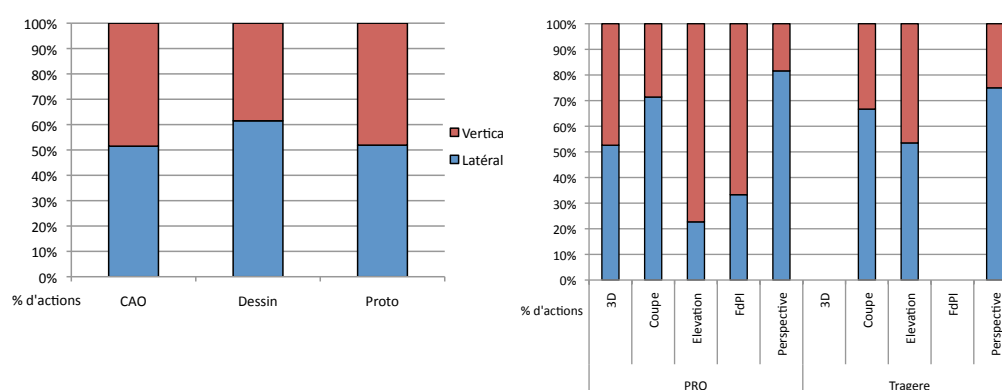


Fig. 147 (PRO) et 148 - Transformations latérales et verticales en relation avec l'objet médiateur.

Nous nous intéressons ensuite aux différents shifts qui peuvent exister et à leurs causes. Nous relevons, au fil des quatre études, dix shifts différents :

- papier vers CAO ;
- fond de plan vers autre type de représentation dessinée ;
- 2D dessinée (élévation, coupe) vers perspective ;
- perspective vers 2D dessinée ;
- CAO vers 2D dessinée ;
- CAO vers perspective ;
- prototype vers 2D dessinée ;
- prototype vers perspective ;
- 2D CAO vers 3D CAO ;
- 3D CAO vers 2D CAO.

Une première lecture qualitative de ces shifts nous permet de lister six causes principales :

- la génération d'une nouvelle variante, d'une nouvelle vue portée sur l'objet (mais qui apporte une information supplémentaire - qui ne se limite donc pas à une simple retranscription) ;
- la nécessité de clarifier un positionnement, de détailler ;
- la simulation, l'évaluation du fonctionnement de l'objet conçu ;
- la modification de l'objet ;
- la nécessité de réintroduction dans un environnement pré-existant ;
- et enfin la nécessité d'expliquer, de synthétiser, de se synchroniser avec un collaborateur.

Ces types de shifts et ces causes ont ensuite été codés pour une approche plus quantitative des données. Ces codages révèlent que les shifts de génération, de simulation, de synthèse et communication du projet (à d'autres et à soi-même) sont importants tant dans un contexte tel que PRO\_COLLAB que pour les autres contextes, plus centrés sur les phases de conceptualisation du projet. La figure 149 souligne l'importance des cycles 2D papier > perspective (ou 3D papier) > 2D papier en conceptualisation (voir mauve et turquoise foncé chez PRO\_DUO, ANOTO, TRAGERE) ainsi que l'importance des allers-retours entre papier et CAO lorsque l'accès aux deux outils est autorisé (bleu ; gris chez PRO\_COLLAB). La figure 150 évalue ce qui cause les shifts, tandis que la figure 151 croise ces données pour tenter de détecter si certains types de shifts sont plus volontiers causés par des raisons précises.

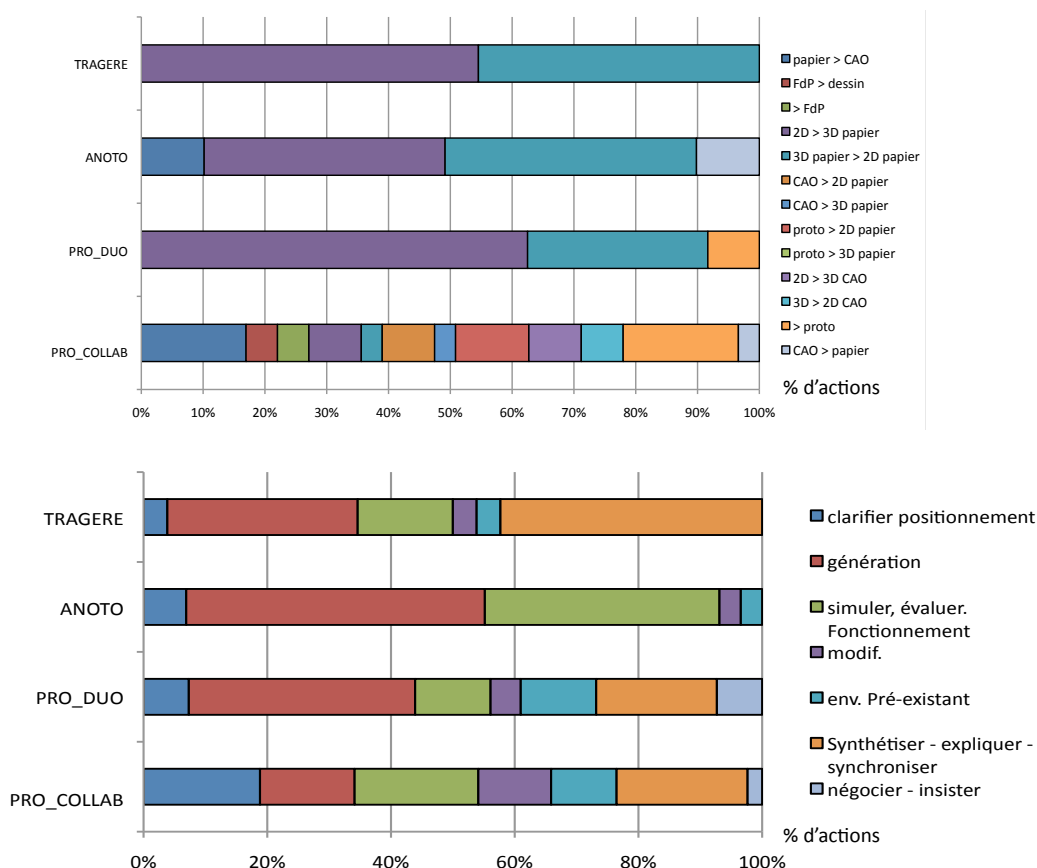


Fig. 149 (haut) et 150 (bas) - Types et causes des shifts.

Ce croisement des données (figure 151) et la comparaison des codages identiques (figures 152 à 155) nous apprend que :

- l'on quitte la CAO vers le papier pour poursuivre la génération de l'idée (après la détection d'une erreur) ou pour la détailler ;
- les shifts vers la CAO sont souvent motivés par un besoin de communiquer, d'expliquer, de simuler, d'évaluer. On retrouve bien les qualités déjà soulignées de la CAO : vecteur efficace de la visualisation explicative et de la simulation par visualisation dynamique ;
- les cycles 2D papier >< perspective >< 2D papier sont motivés par un besoin de générer de nouvelles variantes du projet, de voir l'objet de sa conception évoluer, puis de tester et détailler certains aspects sur une vue 2D plus « cadrée » ;
- et que le proto intervient surtout pour ses qualités de simulation.

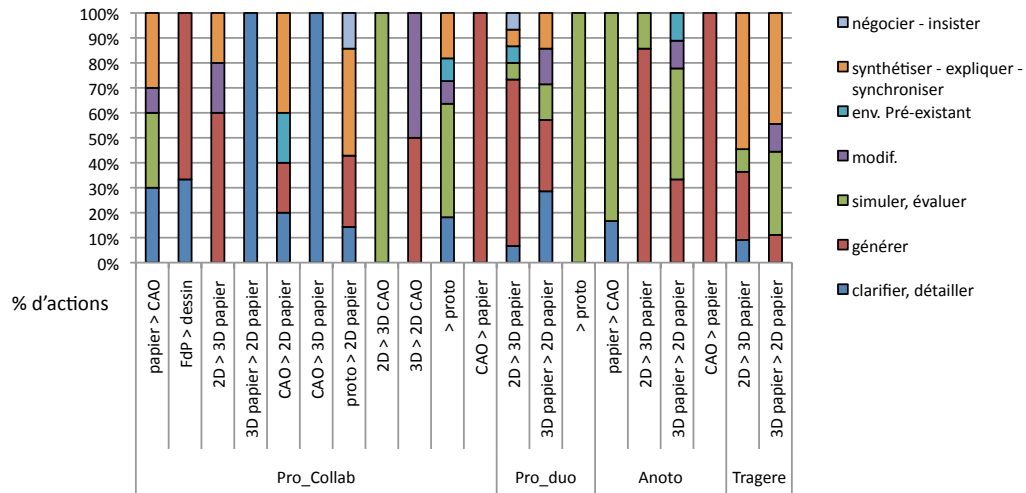


Fig. 151 - Types de shifts et causes des shifts réintégré dans leur contexte d'apparition.

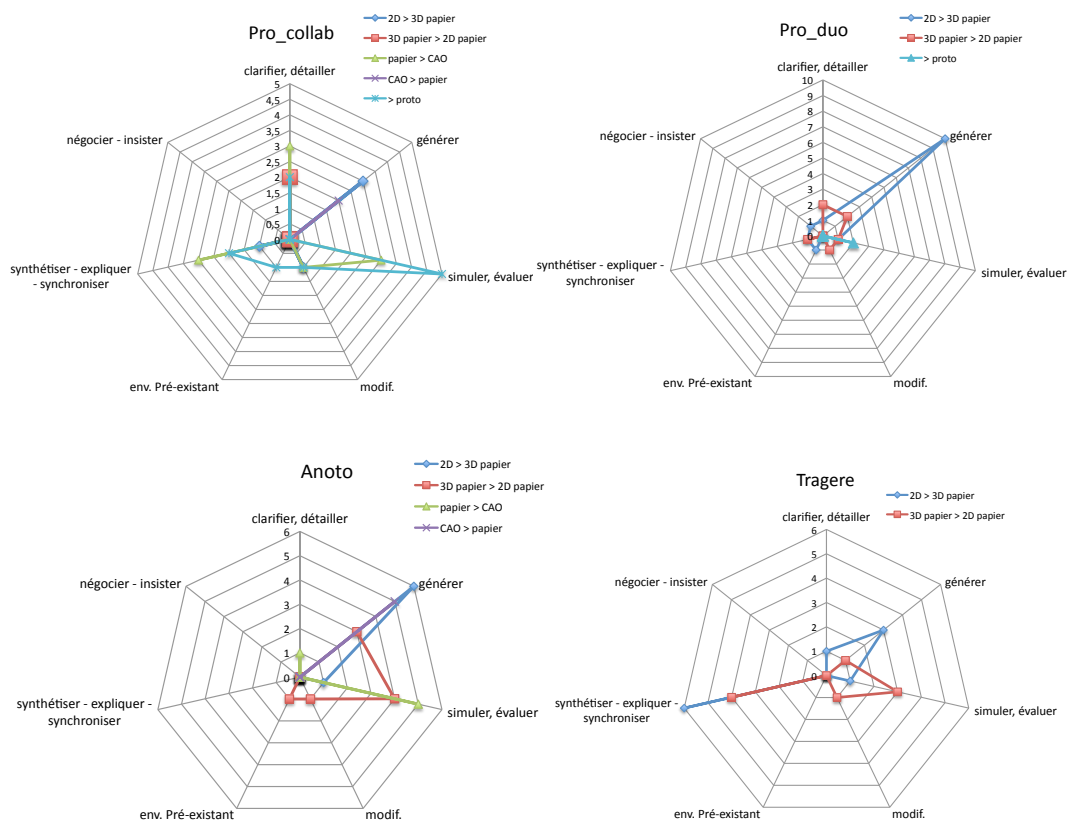


Fig. 152 à 155 - Comparaison des causes pour des shifts apparaissant dans plus d'un contexte étudié, en proportions.

Un rapide croisement des données entre types de représentations et mode de pensée (figure 156) nous apprend enfin que le concepteur fait généralement appel au type de représentation qui soutient le mieux son mode de pensée (révélé le plus souvent par des verbalisations, des debriefings ou des gestes). Les coupes et élévations soutiennent ainsi une pensée 2D (bleu) ; les perspectives une pensée 3D (rouge). Il existe bien entendu des exceptions, révélées par le verbatim. La première apparaît lorsque les designers «voient» mentalement certains aspects du projet en 2D et doivent les modéliser en 3D. Une «gymnastique» de transition, plus ou moins complexe pour certains, apparaît. Un des designers dit : *«donc pour modéliser ça, je dois me vider mon esprit et ne plus penser en 2D. Donc ça c'est la première chose, c'est un effort déjà et puis je dois penser en volume, donc ça c'est le premier truc que je vais faire et puis j'utilise les outils à disposition, par exemple "coque" pour avoir une boîte creuse. Je dois réfléchir Pro-E, quoi.»* Une seconde exception est causée par une méthode de modélisation propre au logiciel Pro-E qui requiert de visualiser la pièce en 2D (en élévation, généralement) avant de pouvoir en modifier facilement les cotes et les paramètres. Un autre intervenant commente : *«si j'avais le choix, je préférerais modifier tout directement en 3D : visuellement ce serait plus facile et on ne devrait pas faire la gymnastique intellectuelle de comprendre en 2D ce qu'on vient de voir en 3D, pour le modifier en 2D et voir finalement les conséquences de son acte en 3D».*

On peut cependant supposer que la plupart du temps les shifts d'une représentation à une autre sont motivés par une évolution mentale du projet en gestation et soutiennent cette évolution au plus près de la pensée.

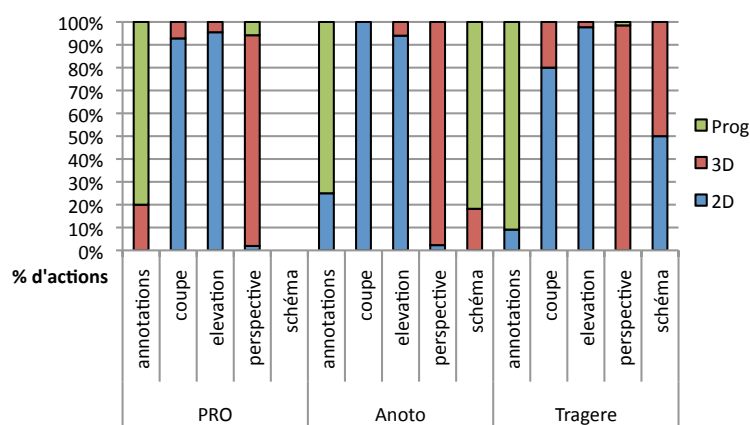


Fig. 156 - Lien entre type de représentation et mode de pensée.

Cette concordance entre type de représentation et mode de pensée est également soutenue par l'étude des modifications. La figure 157 révèle que dans un environnement «papier-crayon» (même numérique, comme celui de TRAGERE) les perspectives et élévations sont les plus enclines à soutenir les modifications. Dans des environnements plus écologiques, où l'accès à l'ordinateur est autorisé (tels qu'on les retrouve dans les études PRO), nous observons que le modèle 3D ancre une large

proportion des modifications (une approche qualitative confirme que les prototypes, dans ce cas, révèlent les erreurs et provoquent la modification mais ne la soutiennent pas physiquement : ils sont un support réflexif et non pas opératif). La figure 158, d'autre part, suggère que la plupart des modifications ont lieu dans un mode de pensée interne tri-dimensionnel.

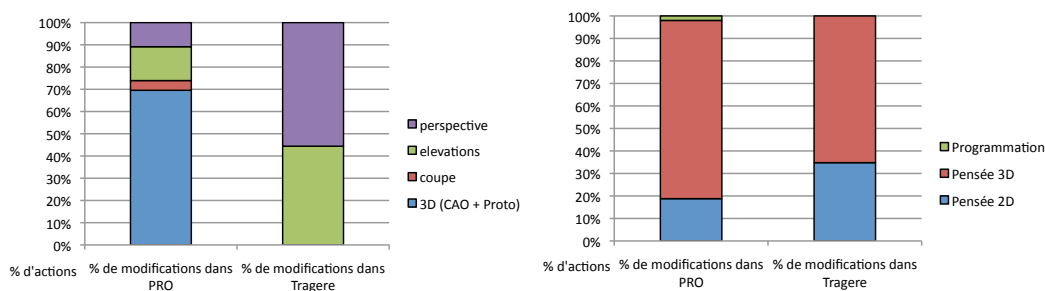


Fig. 157 (gauche) et 158 (droite) - % de modifications au sein de chaque type de représentation et mode de pensée en mode «modifications».

- Toutes ces observations tendent à confirmer d'une part que les modèles esquissés évoluent bien dans le temps (et se dégagent ainsi de la condition de maîtrise dimensionnelle préalable requise en architecture, cf. section 3.1.3 de ce chapitre) et d'autre part que le processus de transition 2D-3D accompagne un processus réflexif complexe (d'évolution des concepts et de modifications). Ce processus est donc bien plus qu'une simple retranscription d'information d'un type de représentation à un autre (comme c'est le cas en architecture, entre plans et perspectives).

Cette processus évolutif complexe est illustré par les quelques exemples suivants. Le premier extrait (figure 159) constate par exemple que l'apport d'information peut se faire également entre deux représentations du même type : en N°70 le sujet représente une table, qu'il reproduit en 72 sous un autre point de vue mais en la faisant évoluer (des pieds apparaissent ; la colonne prend plus d'épaisseur).

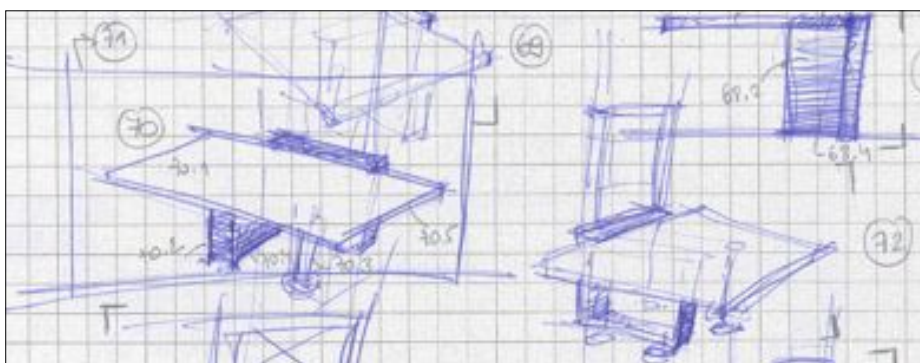


Fig. 159 - L'évolution du projet au travers de deux représentations du même type.

Les figures suivantes retracent plutôt les différentes évolutions du contenu qui peuvent apparaître lorsque l'on passe d'un support papier à un support numérique. La figure 160 donne l'exemple d'un transfert quasi-fidèle : le concept dessiné se retrouve esquissé à l'écran, où il gagne simplement en profondeur pour être plus facilement évalué.

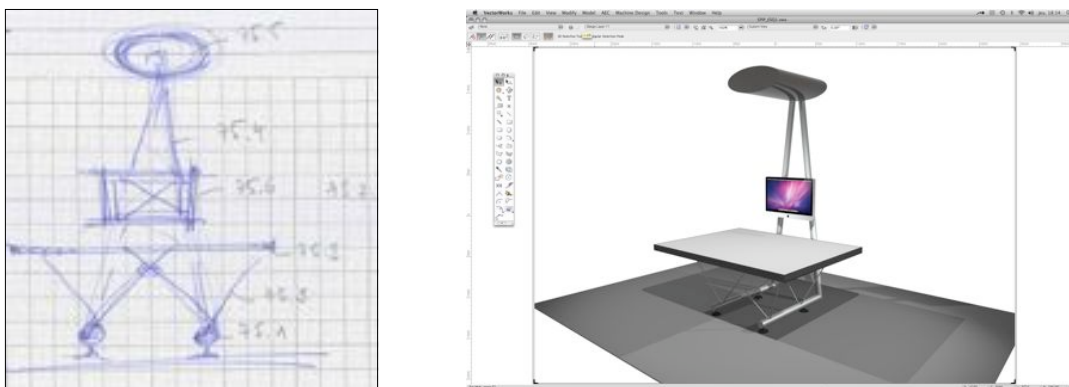


Fig. 160 - Transfert fidèle entre support papier et numérique.

Mais plus généralement le shift s'accompagne d'un ajout d'information : ici une idée naît sur le papier, se développe et se complète via une 3D esquissée (figure 161).

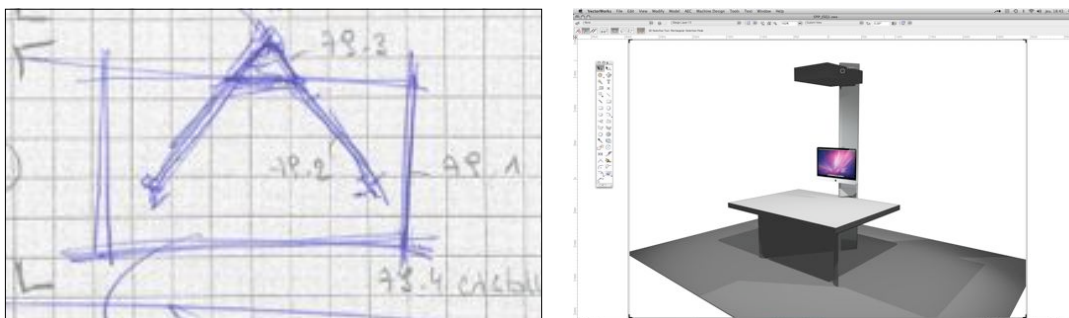


Fig. 161 - L'évolution du contenu entre dessin et modélisation esquissée.

La modélisation esquissée peut enfin se nourrir de plusieurs sources d'information, tester leur association (ici, l'association des pieds de la table, croquis de droite et de la colonne tubulaire, croquis de gauche). Dans ce cas, nous dirons que le modèle numérique esquissé est même plus que la somme de ses dessins constitutifs (figure 162).



Fig. 162 - Un modèle esquissé est plus que la somme de ses deux croquis constitutifs.

La variété des causes des shifts, leur prégnance tout au long du processus et le fait que ces shifts se limitent très rarement à une simple re-représentation confirment que toute transition d'une vue à l'autre s'accompagne d'une évolution du contenu et du niveau de concrétisation du projet. S'il arrive que la reproduction de l'information ne nourrisse parfois qu'un «simple» processus d'évaluation (comme c'est le cas en architecture, lors du transfert plan-perspective), le shift s'accompagne plus généralement d'un apport de contenu qui lui confère donc un rôle tout particulier au sein du processus de conception.

Si l'on se place dans la perspective d'une mise au point d'un outil d'assistance et étant donné la manière dont tous les shifts participent à l'évolution conceptuelle du projet, on pourrait questionner la pertinence, pour le design industriel, d'une génération automatique d'un modèle 3D à partir de traces 2D dessinées (coupes, élévations, perspectives). Si les transferts sont d'une telle importance pour la génération des idées, cette génération automatique de l'esquisse vers le modèle 3D (cette césure entre modèle conceptuel et modèle «de développement») ne risquerait-elle pas d'appauvrir, voire détériorer la qualité globale du processus et du produit ? Au vu des résultats fournis par la figure 151, les concepteurs devraient au moins pouvoir librement aller et venir entre représentations 2D et 3D, de manière à générer des idées dans un médium, les tester dans un second pour ensuite faire évoluer le projet et synthétiser les évolutions que cette conversation réflexive aurait provoquées.

#### 3.4. Shifts de pages et gestion des calques

Cette dernière section évalue ce qui pousse le concepteur à changer de page ou de calque (i.e., papier légèrement transparent) durant son processus de dessin à main levée. Le caractère rigide de la feuille contraint bien entendu le passage d'une page à un autre lorsque la précédente est visuellement trop chargée ou que la place vient à manquer ; en parallèle, nous avons listé quatre causes supplémentaires qui justifiaient ces shifts de page :

- la nécessité de générer un nouveau concept ; une variante ; de modifier le projet. Le shift de page répond donc à une transformation latérale ;
- la volonté de détailler, d'annoter, de produire un détail technique, d'ajouter un composant, de cristalliser. Cette fois le shift de page correspond à une transformation verticale ;
- la nécessité de communiquer, négocier, expliquer à un observateur,... qui s'associe au besoin de repartir d'une page vierge ;
- le changement de point de vue : le concepteur change d'externalisation et prend une nouvelle page pour transférer simplement l'information d'une vue à l'autre (plus rare, donc).



La figure 163 nous apprend que c'est la transformation latérale qui pousse le plus souvent le concepteur à tourner la page. Les transformations verticales sont également une cause non négligeable, mais une approche plus qualitative nous apprend que ce shift de page est également bien souvent causé par un manque de place. La transition pour collaboration chez TRAGERE est un biais lié aux conditions de l'expérimentation : l'interlocuteur/interviewer, en relançant la verbalisation des sujets designers, provoque souvent chez eux une réaction explicative, qui s'accompagne parfois d'un changement de calque. Nous observons enfin, chez TRAGERE toujours, une hausse des shifts de page pour transmission de l'information pure. Le nombre de représentations d'un même objet, présentant le même contenu mais sous un angle de vue différent, est donc en hausse. Ceci pourrait s'expliquer par :

- la faible complexité du problème à résoudre : les sujets auraient consenti un effort moindre de conception, ce qui pourrait se traduire par des shifts conceptuellement moins riches. La question de savoir pourquoi les sujets ont tout de même généré un nombre non négligeable de shifts reste dès lors ouverte ;
- le contexte de transfert et d'appropriation par un autre designer, propre à l'expérimentation (et dont les sujets sont avertis), qui pourrait pousser les participants à présenter plus «clairement» les différents aspects de leur projet (étant donné qu'aucune interaction autre que graphique n'est autorisée) ;
- le caractère «amusant» de la gestion des calques et leur transparence, lié à l'usage d'une interface nouvelle, qui pourrait pousser les concepteurs à générer plus de dessins connexes mais conceptuellement redondants ;
- une conception plus «précautionneuse», qui se traduit par une duplication des calques pour «sauver» les différentes parties du projet - et donc une duplication des shifts de page qui se traduit ensuite par des reports plus fréquents d'information ;
- ou, en lien avec cette dernière supposition, la manipulation d'une interface numérique qui ferait appel à des mécanismes implicites d'usage des outils de CAO, qui structurent effectivement artificiellement le travail en une multiplication de calques superposés.

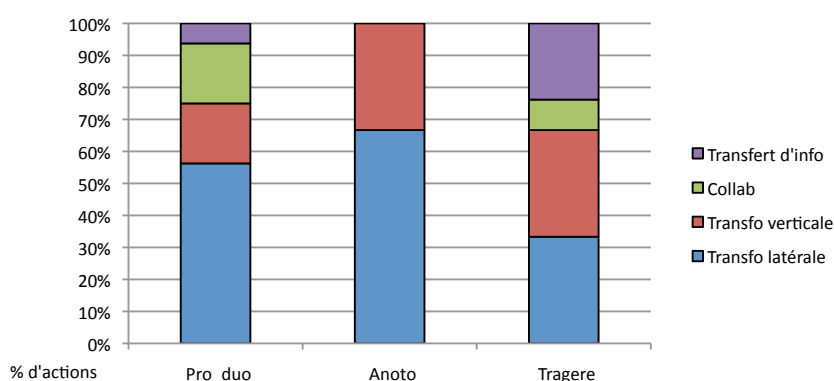


Fig. 163 - Causes des shifts de page en conceptualisation dessinée.

Il est intéressant à ce stade d'ouvrir une courte parenthèse afin de faire le lien avec les comportements observés en architecture. Un papier de (Safin, Juchmes, & Leclercq, in press) passe en revue les mécanismes des shifts dans ce domaine (nous ne retiendrons ici que les conclusions relatives aux shifts de pages et à la gestion des calques en mode «papier/crayon»). Ces auteurs observent qu'un premier calque soutient une phase de recherche conceptuelle par traits flous, qu'ils qualifient de «brouillon». Si un remise au net peut survenir ensuite directement sur ce calque, ils observent qu'un second calque peut également être apposé sur le premier pour soutenir cette phase de cristallisation et de «nettoyage» des traits. Cette remise au net, dans un processus de conversation avec la représentation, nourrit ensuite la conception et devient à son tour un «brouillon» etc. Croquis «nets» et «de brouillon» peuvent coexister sur un même calque, mais les auteurs observent qu'en général l'usage des calques se fait «en escalier» : les calques sont peu ou pas réutilisés et le shift traduit une propagation des contraintes d'un calque à l'autre, chaque calque figurant un étage particulier (du rez de chaussée vers les étages en général).

En design industriel nous observons moins fréquemment ce transfert d'information d'une vue à l'autre d'un même objet, d'un calque à l'autre. Le calque et la page prennent une importance toute aussi cruciale, mais remplissent d'autres objectifs : ils soutiennent plutôt la génération de plusieurs variantes que l'on désire considérer en parallèle. Le calque transparent (papier) ne nourrit donc pas une mise au net (pour devenir à son tour un brouillon), mais construit plutôt une la collection de vues à comparer.

Chez TRAGERE cependant, un autre type de comportement est observé. Le logiciel ne laissant pas la possibilité au designer de comparer plusieurs variantes en côte à côte, nous observons chez l'un des participants un usage particulier de la mise en transparence (figure 164). Il dessine une première variante du coin jeu (calque en haut à gauche), avec sa vue de profil complémentaire (qui apporte une information de type anthropométrique). Il ajoute alors un calque pour détailler quelque peu l'intérieur de ce coin jeu (calque supérieur droit). Il désactive ensuite la transparence vers le calque inférieur pour ne visualiser que le détail qu'il vient d'achever (calque inférieur gauche). Cette visualisation semble générer une nouvelle idée, qu'il matérialise sur un dernier calque. Il complète le détail, qu'il entoure d'un nouvel environnement : une nouvelle variante du coin jeu est née. Dans ce cas particulier une transformation verticale (d'ajout de détail), efficacement supportée par un nouveau calque, nourrit le processus de conception et la génération d'une transformation latérale. Ce dernier calque peut ensuite être désactivé, pour laisser place à un nouveau processus génératif. Ce phénomène de ré-exploitation d'un détail déconnecté de son environnement n'a été observé que dans l'environnement numérique (les calques papier-crayon l'autorisant pourtant) et constitue une des valeurs ajoutées de l'interface numérique.

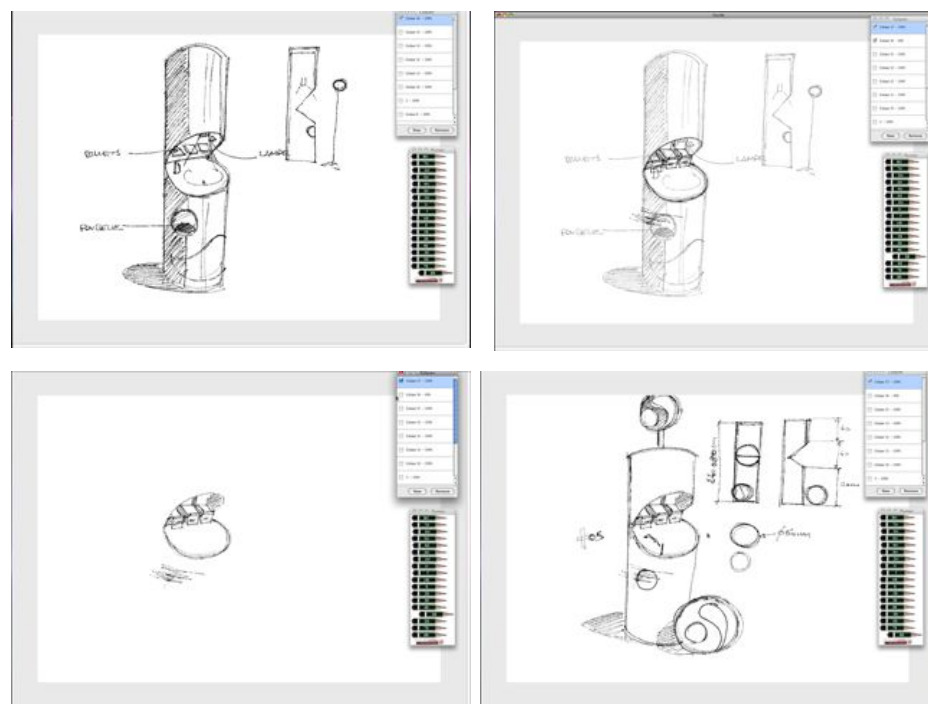
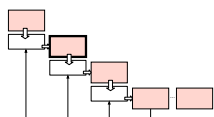


Fig. 164 - Génération d'une variante à partir d'une transformation verticale et de la gestion particulière des calques.

Soulignons enfin que les shifts de calques dans l'environnement CAO (Pro-E®, Vectorworks®, ...) ne répondent pas aux mêmes mécanismes que ceux relevés en phase de dessin. Dans l'environnement numérique le changement de calque suit une logique de visualisation : le concepteur a généré autant de calques que de niveaux de complexités visuels (un calque pour les pièces principales, un second calque pour les détails par exemple) et passe rapidement de l'un à l'autre en fonction de ses besoins en visualisation du projet.

#### 4. Travail collaboratif sur l'essence communiquée



Une fois le travail individuel de conceptualisation terminé, le sujet concepteur va soumettre sa variante au collectif et entrer ainsi dans la seconde phase de notre scénario global : le travail collaboratif sur l'essence communiquée (dans un mode de co-conception ou de coopération, figure 165). Nous observons que l'externalisation choisie présente, intentionnellement ou non, des caractéristiques graphiques (des «*key features*») qui la rendent communicable, plus facilement appréhendable, qui constituent son essence exploitable. Cette essence exploitable, issue d'une relation homme-homme, peut nourrir les bases d'une interaction homme-machine.

Cette esquisse communicable peut à nouveau être un croquis ou une modélisation esquissée, mais elle présente des caractéristiques particulières, propres à cet épisode de la conception : elle est par exemple généralement réintroduite dans un environnement pré-existant et son formalisme visuel est plus coloré.

La phase de conception préliminaire est toujours en cours : cette externalisation (formelle ou technique, selon les contextes) constitue une première proposition que le designer, avec l'aide de ses proches collaborateurs, va encore faire beaucoup évoluer. D'autres caractéristiques graphiques vont être exploitées durant la collaboration, afin de simplifier la désignation, la synchronisation, l'explication.

En fonction de la relation entretenue avec la clientèle, l'externalisation ainsi retravaillée en interne pourra lui être présentée une première fois, pour récolter les premiers avis. Nous verrons que cette modalité collaborative particulière influence les usages des objets médiateurs.

Cette phase s'achève par la sélection collaborative d'une variante parmi toutes celles issues du travail d'équipe. Cette sélection est également largement influencée par la modalité collaborative : les variantes en jeu sont souvent de différentes qualités et si ces qualités rentrent en jeu dans la sélection «objective» de la variante finale, d'autres mécanismes tels que les relations hiérarchiques et les résultats d'une négociation peuvent également peser sur le processus décisionnel.

La variante finalement sélectionnée est en quelque sorte la synthèse de toutes les solutions satisfaisantes trouvées aux contraintes détectées jusqu'à ce point du processus. Nous verrons que le stade suivant (de transfert et d'appropriation de cette essence synthétique) s'accompagne d'une détection d'erreurs résiduelles, cruciale pour le succès global du projet.

Les quatre sections suivantes détaillent les particularités propres à cet épisode de la conception préliminaire, à savoir

- les caractéristiques graphiques, communicables et communiquées des objets médiateurs ;
- les modalités collaboratives qui peuvent être mises en place en externe, avec la clientèle ;
- l'importance de la multi-modalité pour le bon déroulement du travail collaboratif en interne ;
- l'importance, à ce stade, de tracer les décisions prises.

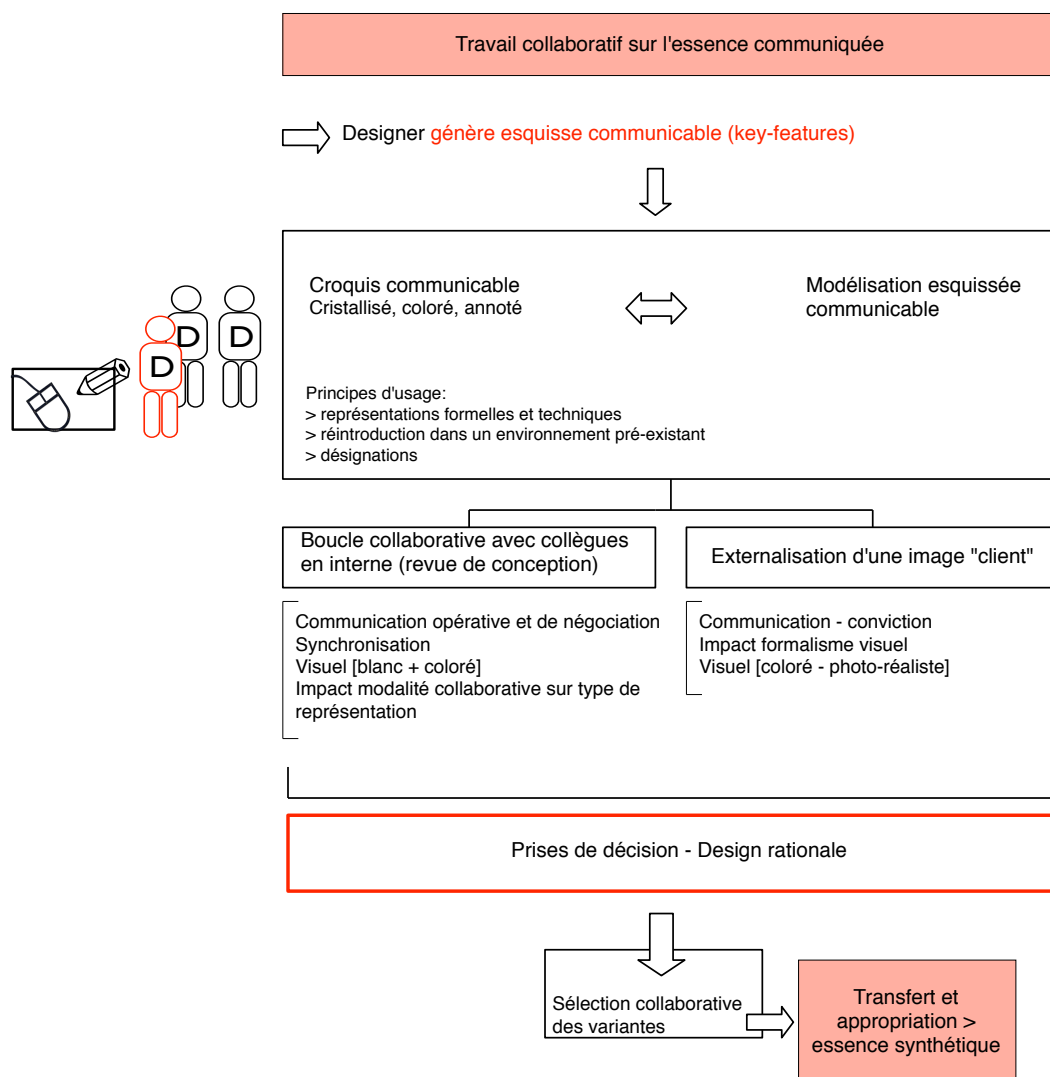


Fig. 165 - Seconde phase du scénario global : le travail collaboratif sur l'essence communiquée. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.

#### 4.1. Les objets médiateurs en collaboration et leur essence communicable, communicable

Cette section se concentre sur l'essence graphique communicable, puis communiquée, des principaux objets médiateurs (l'essence communicable étant «préparée», proposée par le designer-concepteur ; l'essence communiquée étant le résultat de la collaboration en cours). Les données récoltées sont principalement issues de nos observations qualitatives : pour le dessin, l'essence communicable pure de PRO\_DUO (étant donné l'absence de référent client) est complétée de nos observations chez ANOTO (en présence de clients acquis) et chez TRAGERE (avec les binômes aveugles mais conscients du transfert). PRO\_COLLAB, avec sa revue de conception, constitue une mine d'or de données quant à l'usage de la CAO dans ce type de contexte.

Sur base de l'essence communicable préparée par le designer, une collaboration instantanée et opportuniste va se mettre en place, au gré des collègues disponibles et au gré des problèmes qui doivent encore être résolus. La figure 166 présente la répartition des trois principaux objets médiateurs (dessin, CAO et proto) utilisés chez PRO en fonction des modalités collaboratives. Nous observons que le dessin constitue l'objet médiateur le plus souvent exploité au cours de ces collaborations instantanées. Notons que les occurrences en négociation via le prototype sont liées à une collaboration précise, avec le prototypiste : pour collaborer (et négocier) avec celui-ci, le plus simple est, comme nous le verrons en section 4.3, d'utiliser l'interface collaborative la plus proche de son expertise.

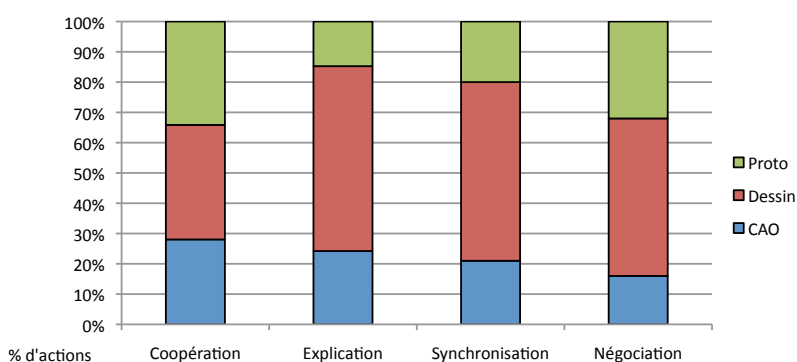


Fig. 166 - Différents objets médiateurs en support de modalités collaboratives (chez PRO).

Un autre diagramme, dont nous ne présentons pas le détail ici, nous apprend que sur l'ensemble des explications, 40 % se font via la 3D (physique ou numérique) et 28 % via la perspective, tandis que sur l'ensemble des synchronisations, 41 % se font sur un support 3D, 41 % en élévation et 12 % en perspective.

Quel que soit l'objet médiateur sélectionné, nous observons que l'essence communicable est généralement réintroduite dans un environnement pré-existant, qui

facilite la synchronisation et soulage l'effort de mémoire. Dans le cas du dessin, c'est au fond de plan auquel il est le plus souvent fait appel, ainsi qu'à la perspective. Nous verrons qu'en CAO, la visualisation dynamique du modèle 3D tend à faciliter cette réintroduction dans un tel environnement, mais que certaines fonctionnalités en complexifient le processus. D'un point de vue cognitif, cette réintroduction dans un environnement permet, d'après Helstrup, de «rafraîchir» l'appréhension de représentations mentales trop complexes et d'éviter ainsi leur affadissement régulier (Purcell & Gero, 1998).

La figure 167 nous rappelle que la revue de conception de PRO\_COLLAB fait usage d'une plus grande variété de formalismes visuels que la phase de conceptualisation de PRO\_DUO, tandis que la figure 168 détaille ces formalismes en fonction de la modalité collaborative. La couleur fait son apparition, principalement pour des tâches de partage de l'information. Elle facilite la lecture des représentations et la compréhension de l'enchevêtrement des pièces et rend plus efficace la communication. Nous avons pu par exemple entendre un sujet dire à un autre «*moi je dirais qu'il y a une confrontation entre ça et ça... entre la pièce mauve et la pièce bleue ...*». Elle peut aussi devenir un code : un des designers nous apprend qu'il surligne en bleu toutes les tôles de 3 mm par exemple.

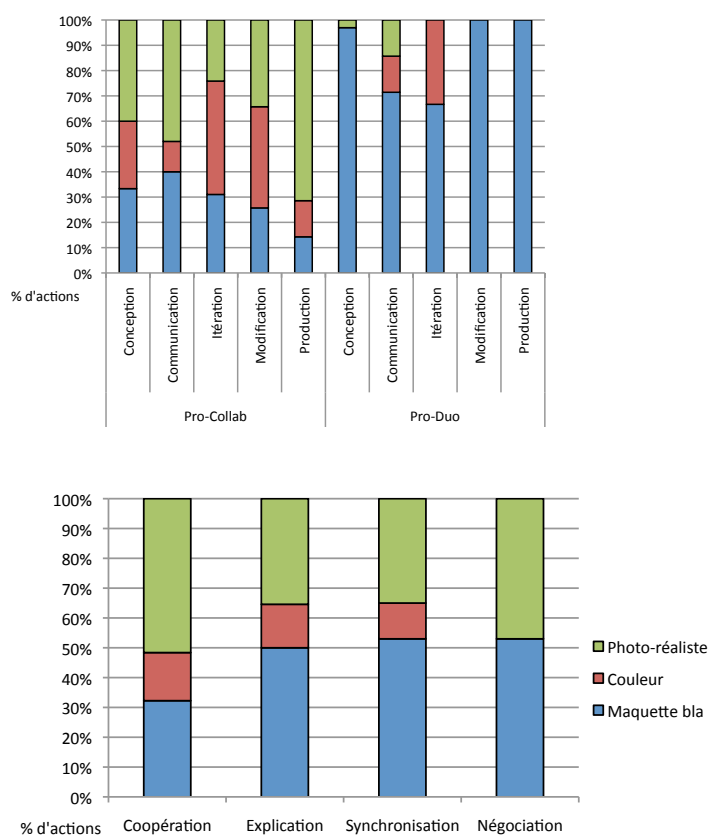


Fig. 167 (haut) et 168 (bas) - Formalismes visuels et collaboration chez PRO.

#### 4.1.1. Le dessin à main levée - le transfert viral et instantané de l'information

L'expérimentation TRAGERE nous a démontré que les principes graphiques de l'essence communicable du dessin étaient le plus souvent identiques à l'essence de croquis individuels, résultante de la conversation que le designer entretient avec sa représentation. La «communicabilité» d'une représentation est donc un processus largement implicite et nous n'avons pu observer que dans de rares cas un processus conscient de remise au net et/ou de cristallisation pour une communication à des collaborateurs proches. Le mécanisme devient cependant plus explicite lorsque les compétences en dessin du sujet sont faibles, ou lorsque le designer sait que son essence communicable doit être fortement appuyée pour être plus facilement appréhendable par des intervenants extérieurs peu habitués. Le trait se fait alors plus travaillé, plus appuyé (traits cristallisés sans cycles de traits flous-légers-répétés), plus précis et l'usage d'ombrages et de textures se fait plus important.

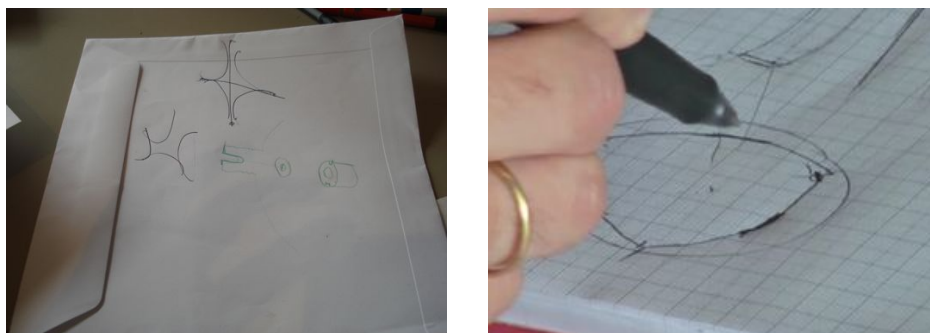
Le dessin, au cours de la collaboration, est très apprécié pour son «universalité» : la multitude de types de représentations auquel le designer peut faire appel pour se faire comprendre le rend effectivement adapté à toute sorte de situations. Dans le cas d'une collaboration avec un prototypiste par exemple, si le prototype physique de référence n'est pas disponible, le designer peut sans aucun souci utiliser un fond de plan pour soutenir son explication. Le prototypiste, avec l'expertise qu'il a acquise en manipulant des plans très techniques de mise en production et de découpes laser, peut facilement lire ce type d'externalisation.

Un autre des atouts du dessin est la rapidité avec laquelle n'importe quel intervenant peut s'emparer d'une feuille et d'un crayon pour exposer son point de vue. Le dessin autorise un processus *viral*, de transmission et d'appropriation rapide d'un support hautement transférable. Un tel processus n'a jamais été observé avec la CAO : les dimensions limitées de l'écran et la manipulation individuelle de la souris le rendent quasi impossible à mettre en oeuvre. Cette transférabilité permet également au designer senior de déposer nonchalamment ses dessins au milieu de la table et de les proposer ainsi comme référents au stagiaire.

Au dessin communicable, préparé par le designer au cours de la phase de conceptualisation individuelle, nous devons donc ajouter le dessin communiqué, une catégorie de croquis viraux, dynamiques, transférables, très rapidement réalisés et présentant un contenu très ambigu pour toute personne extérieure au processus (figures 169 et 170). Ce type de croquis, qui s'approche plus du «*talking sketch*» (Ferguson, 1992) est apprécié pour sa polyvalence : il peut être utilisé n'importe quand et n'importe où, sur à peu près n'importe quel support. Un designer dit à son propos : «*dans l'atelier, il nous est déjà arrivé de croquer avec un gros marqueur sur une palette de bois, ou même dans la poussière sur une plaque de métal*». Il délaisse cependant le rôle de cristallisation, habituellement endossé par ses homologues durant les autres épisodes de la conception. Si la cristallisation apparaît, c'est plus pour attirer l'attention d'un collaborateur sur un point critique (pour le convaincre, pour se synchroniser ou



développer le référentiel commun) que pour geler des attributs pour la suite du projet (figure 170).



*Fig. 169 (gauche) et 170 (droite) - Deux exemples de croquis «viral», dessinés au dos d'une enveloppe, très rapidement, au gré de la collaboration en cours et la cristallisation d'attention.*

Cette particularité virale du dessin peut également se transmettre à d'autres supports. Parmi les six catachrèses que nous avons pu relever tout au long de nos observations, celle présentée par les figures 171 et 172 est de loin la plus étonnante : face à l'incompréhension d'un dessinateur, un designer se lève, va vers le prototype présent dans la pièce et commence à dessiner, à même le métal, le profil de la pièce qu'il aimerait voir modélisée. Le prototype devient non seulement le support de la simulation physique mais aussi graphique de l'objet en cours de conception.



*Fig. 171 (gauche) et 172 (droite) - Catachrèse.*

Le dessin peut cependant, par certains aspects, limiter le processus collaboratif. On ne peut par exemple dessiner indéfiniment sur la même feuille, ni développer à l'infini ses dimensions : la surcharge graphique visuelle ralentit, à un certain niveau, la qualité de la collaboration et la simplification visuelle est souvent impossible (figure 173). Par ailleurs, son caractère transportable et viral en fait un candidat privilégié pour les pertes (physiques, décisionnelles) et les interprétations hasardeuses (Stacey, Eckert, & McFadzean, 1999).



Fig. 173 - La surcharge visuelle.

#### 4.1.2. Le dessin support d'annotations

Le dessin communicable et communiqué autorise également les annotations, désignations graphiques ou «tagging», plus difficilement mises en oeuvre via la CAO. Nous avons déjà fait état, dans la section 3.3.1 du chapitre 2, des différents types d'annotations qui existent, tandis que l'étude qualitative d'ANOTO nous a confirmé leur importance. Nos observations nous permettent d'en lister quelques caractéristiques.

Nous avons ainsi pu observer des annotations (ou check-lists) *pense-bête* : le designer résume, en quelques mots, des informations existant par ailleurs, comme par exemple des contraintes à ne pas oublier, ou de questionnement (il résume des interrogations), qui peuvent être fonctionnelles, technologiques (figure 174). Ces annotations ne sont généralement exploitées que durant les phases préliminaires de la conception mais peuvent constituer une source d'information importante pour la reconstruction, a posteriori, de l'historique du projet et du processus décisionnel.

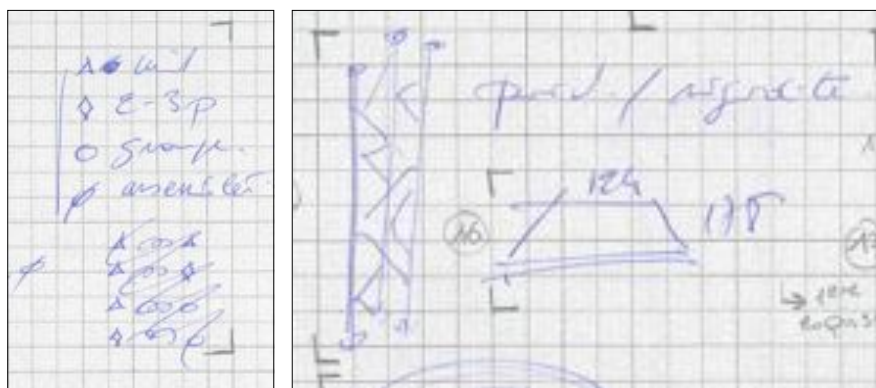


Fig. 174 - L'annotation *pense-bête* fonctionnelle et technique.

La figure 175 présente, en N°30, ce que nous appelons une *annotation graphique de recherche formelle*. Le designer de l'étude ANOTO, rappelons-le, cherche plusieurs variantes formelles pour la tête de projection du bureau virtuel et ces quelques traits horizontaux explorent l'aspect formel que pourrait prendre un profil. Ce type

d'annotation est extrêmement volatil : si le designer n'en fait pas une utilisation directe, il est probable qu'il n'y revienne plus ensuite.

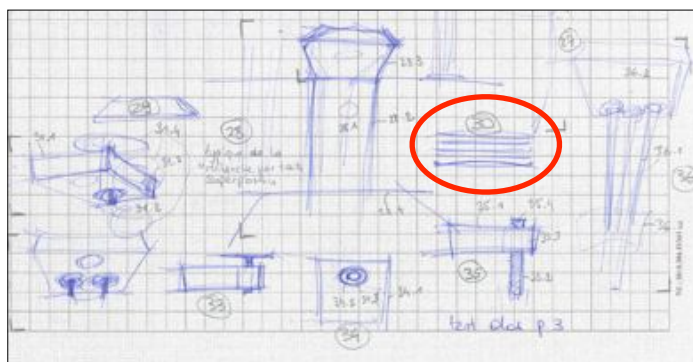


Fig. 175 - Annotation graphique de recherche formelle.

Un autre type d'annotation est *l'annonce* (dans ce cas, personnelle, mais qui pourrait être de communication, figure 176) : le designer, en un mot, annonce qu'il passe à l'étape suivante de recherche formelle pour la table. L'objectif principal de cette annonce est de structurer le processus de conception. Elle n'incarne aucun degré d'urgence opérative et sa durée de vie, bien qu'illimitée, n'implique aucun usage futur particulier.



Fig. 176 - Annotation d'annonce.

Les traditionnels *schémas de principes* peuvent également être considérés comme une catégorie d'annotation graphique : ils traduisent, en quelques traits très flous et personnels, une intention dont la pérennité dépend du processus décisionnel.

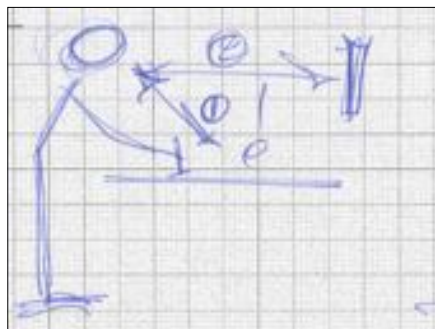


Fig. 177 - Schéma de principe.

Nous faisons enfin état du *tagging* qui, en complément de la cristallisation, est une annotation graphique permettant de désigner certaines zones du dessin. Certaines zones peuvent être à retravailler (figure 178) et dans ce cas l'annotation s'accompagne d'un degré d'urgence opérative. D'autres tags figurent simplement la sélection d'une variante : dans ce cas l'annotation marque une étape importante du processus décisionnel.

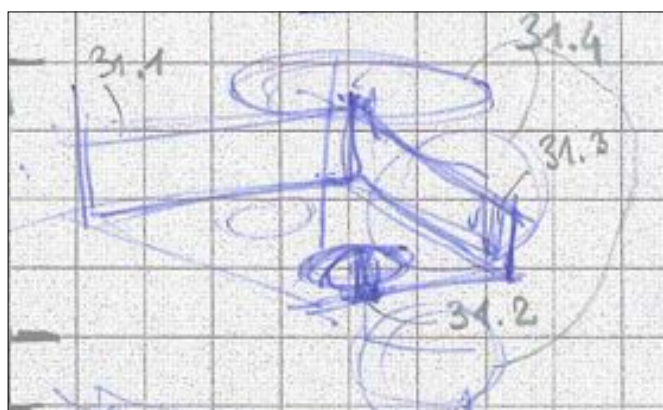
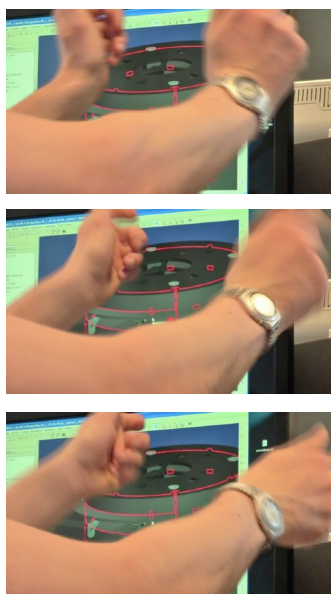


Fig. 178 - Taggings, désignés par le marqueur 31.4.

#### 4.1.3. La CAO en travail collaboratif : dynamique, surbrillances et désignations

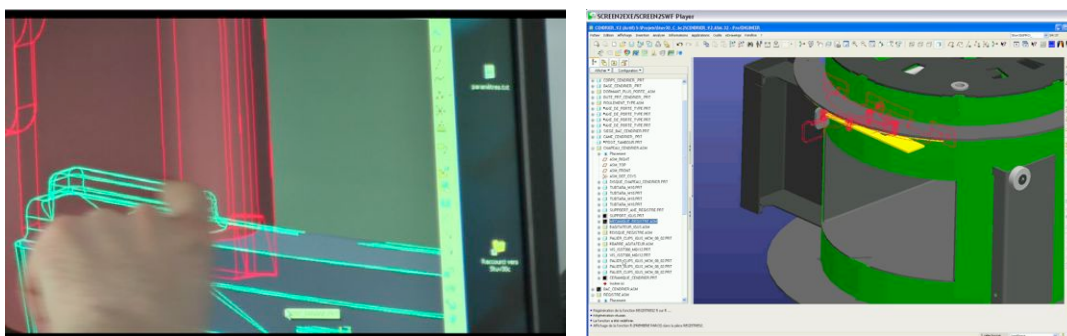
Les outils de CAO remplissent également un rôle important tout au long de ce travail collaboratif. Lorsque l'essence communicable est travaillée sur CAO elle voit ses qualités graphiques et formelles définies, par défaut, par les qualités visuelles du logiciel et il est pratiquement impossible pour le concepteur de les améliorer. Les modèles esquissés réalisés durant la phase de conceptualisation ont cependant un avantage : en étant effectivement normalisés par défaut, ils en deviennent plus facilement appréhendables par tout intervenant externe (la représentation perd ses qualités ambiguës et personnelles).

Les visualisations dynamiques de ces modèles 3D sont ainsi intensivement exploitées en support de l'explication, de la synchronisation. Elles sont augmentées par les fonctions de mise en surbrillance et s'accompagnent toujours d'énormément de désignations et de gestes (figure 179).



*Fig. 179 - La visualisation numérique support aux gestes : le designer explique comment une pièce s'emboîte dans une autre.*

La sélection et mise en surbrillance d'un composant (et de ses parties cachées) permet ainsi de mieux comprendre les imbrications de pièces (figure 180), tandis que la surbrillance du profil «fantôme» d'une pièce permet elle d'évaluer un composant dans son environnement pré-existant (figure 181).



*Fig. 180 (gauche) et 181 (droite) - Surbrillance, désignation et profil fantôme en CAO.*

La visualisation dynamique, si elle permet de réintroduire une pièce dans son environnement pré-existant (figure 182) peut cependant être compliquée par les dimensions réduites de l'écran (déjà soulignées par (Béguin, Rabarbel, & Trotta, 1992)) et la difficulté de navigation à la souris. Cet outil de manipulation individuel, lorsqu'il n'est pas contrôlé par celui qui désire désigner, provoque des incompréhensions et pertes de temps (figure 183).

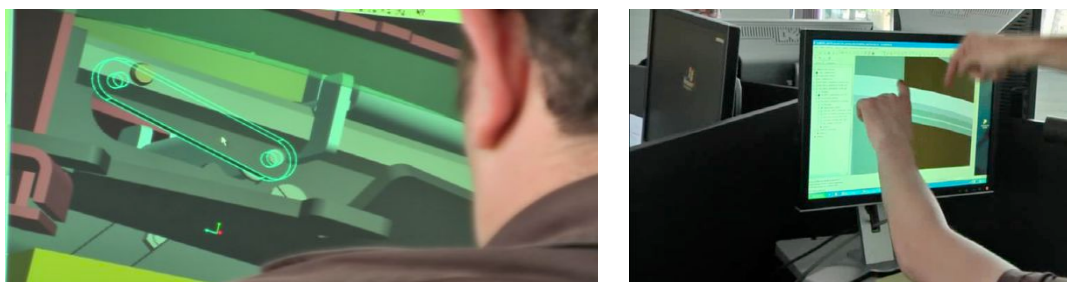


Fig. 182 (gauche) et 183 (droite) - Réintroduction dans un environnement pré-existant et difficulté de désignation en collaboration.

La dernière difficulté dont nous ferons état est le «bruit visuel» provoqué par certains logiciels. La mise en surbrillance intempestive de toutes les pièces par dessus lesquelles passe le pointeur et la lourdeur visuelle de certaines pièces en mode «filaire» (figures 184 et 185) ne simplifient ni la collaboration, ni même la conversation réflexive individuelle. Cette observation confirme un des postulats relevés par Scaife et Rogers (1996) : la modélisation et visualisation en mode «plein» serait plus efficace qu'en mode «filaire» (cf. section 4.6 chapitre 2).

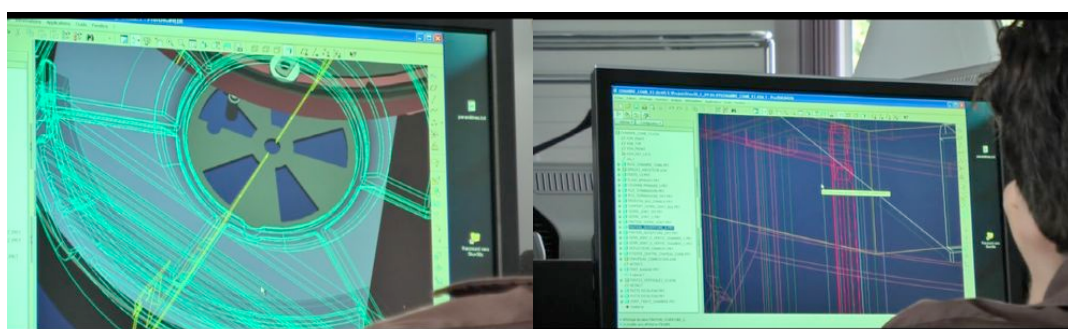


Fig. 184 (gauche) et 185 (droite) - La surbrillance intempestive et le «bruit visuel».

#### 4.2. La boucle collaborative sur l'essence communiquée : impact de la collaboration avec les clients sur l'usage des objets médiateurs

La représentation ainsi retravaillée itérativement en interne peut ensuite être présentée à des clients, pour un premier debriefing.

Le dessin est rarement utilisé dans ce cas, car il correspond de moins en moins aux attentes contemporaines des clients, très au fait des nouvelles possibilités offertes par les technologies de visualisation. Un des designers dit à ce sujet «*c'est le phénomène d'intellectualisation du dessin : il perd son rôle démonstratif*». Les «clients» vont bien souvent devoir eux même vendre ces visualisations au consommateur final et une «belle image» remporte dans ce cas grand succès.

Lorsqu'il est néanmoins utilisé, les designers peuvent faire appel à ce qu'ils appellent les «vrais croquis» ou les «faux croquis». Les vrais croquis sont dessinés avec grand soin, préalablement à toute modélisation, tandis que les faux croquis sont en

réalité des re-représentations d'objets dont la conception est déjà achevée et dont les modèles 3D existent préalablement (et qui nourrissent bien souvent le fond de plan du dessin). Dans les deux cas, ces dessins, flous, colorés et artistiques (dont un sujet dit qu'ils «*cassent le côté virtuel du 3D*»), permettent aux designers de plaire sans entrer dans trop de détails. Ils sont particulièrement utilisés dans les contextes de concours. Dans ces contextes précis, ils permettent de convaincre une clientèle tout en gardant une certaine marge de manoeuvre. Le client, face au dessin, peut être convaincu mais également conscient que la représentation est en cours et non finalisée : le dessin peut se permettre quelques distorsions, quelques hypothèses qui ne sont plus autorisées lorsque des images numériques sont proposées. Celles-ci, avec leur aspect fini (photo-réaliste le plus souvent), laissent à penser que le projet est déjà presque achevé, ce qui diminue drastiquement les marges de manoeuvre du concepteur : le client risque d'être déçu s'il n'obtient pas au final ce qui avait été visuellement promis ; les modifications ultérieures sont difficilement défendables et il ne comprend pas non plus que certains délais soient éventuellement dépassés. La représentation léchée donne l'impression d'un état d'avancement qui n'est finalement pas celui du processus de conception réel.

Le designer doit donc véritablement établir une stratégie dans le choix de l'artefact de communication externe : présenter trop tôt des images trop léchées diminuera ses marges de manoeuvre futures, images 3D qui sont pourtant parfois nécessaires pour s'assurer le gain d'un contrat.

#### 4.3. Multimodalité en conception collaborative et usage des représentations multiples

Le choix de l'interface de collaboration dépend des expertises en présence. En effet, nos observations nous permettent d'avancer que, d'une manière générale, l'interface de collaboration s'approche toujours au plus du mode opératoire habituel du métier avec lequel on collabore. Dessin et modèle entre designers, dessin et visualisation à l'écran entre dessinateurs et designers, captures d'écran de modèles photo-réalistes pour les clients et prototypes et fonds de plan entre prototypistes et designers. La modalité de collaboration a donc bien un impact sur l'outil et la représentation utilisés et les contenus des représentations partagées varient d'une modalité à l'autre également. Ces modalités sont dépendantes du niveau d'expertise en CAO et en connaissances «métier», mais sont aussi fonction des répartitions des tâches.

De plus, nous constatons que, dans un contexte collaboratif, les représentations et outils sont toujours utilisés conjointement, dans un mode complémentaire et multimodal (figure 186). Nous rejoignons donc le point de vue de Ainsorth, présentées dans le contexte particulier de l'apprentissage en section 4.3 du chapitre 2.

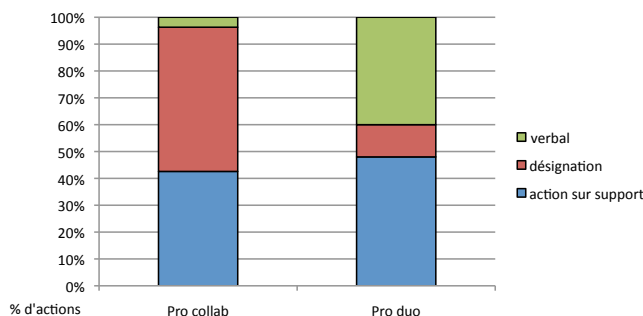


Fig. 186 - Multi-modalité dans l'usage des objets médiateurs et importance de la désignation en revue de conception collaborative.

L'utilisation d'un seul outil et/ou d'une seule représentation est effectivement rare, les objets étant souvent accumulés pour garantir le partage d'un référentiel commun complet. Rabardel dit à ce propos que «chaque outil remplit généralement sa ou ses fonctions formelles, mais aussi d'autres fonctions. Une certaine redondance est ainsi introduite par l'opérateur dans son outillage (...) qui est ainsi restructuré et organisé et forme un ensemble homogène où se réalise un meilleur équilibre entre les objectifs d'économie et d'efficacité» (1991, p.128, cité par (Bourmaud, 2006)). Plusieurs observations attestent de cette nécessité d'une multimodalité au sein d'une conception collaborative. Ainsi, on a pu observer que :

- le travail de conception sur prototype s'accompagne d'énormément de gestuelle, visant à expliciter aux collaborateurs l'emplacement des éléments, leur cinématique, leur relation avec l'environnement existant, ou tout simplement pour les désigner et les faire reconnaître de tous, lorsque cela s'avère plus efficace que via le dessin ou la CAO ;
- le passage d'un dessin personnel à un collaborateur se fait toujours avec un commentaire ;
- l'explication d'un principe s'accompagne de gestuelle, comme l'extrait suivant peut nous le faire comprendre. Un designer nous explique «*tout le monde n'est pas d'accord avec moi. Mais moi pour mon cas, si je veux comprendre le principe de la fumée... Je vais faire une vue de profil de cette forme ci ... Il y a un déviateur qui est situé ici ... il y a une chambre de combustion là ... il y a le sol ... il y a un dessus ... il y a [il change de couleur de bic : bleu] de l'air combustion qui fait ça et puis qui passe là et puis qui revient devant et puis qui rentre dans le feu et puis ça se réchauffe et puis ... [il change de couleur de bic : vert] après ça se réchauffe et puis heu ... ça passe ici puis ça repasse ainsi puis ça repasse là*». Verbatim évidemment incompréhensible lorsque l'on a pas sous les yeux le dessin qu'il croquait en même temps et que nous ne pouvons présenter que sous sa forme statique (figure 187). On voit bien ici l'intérêt de l'explication qui accompagne le croquis, ainsi que l'intérêt du trait de couleur qui soutient le discours.



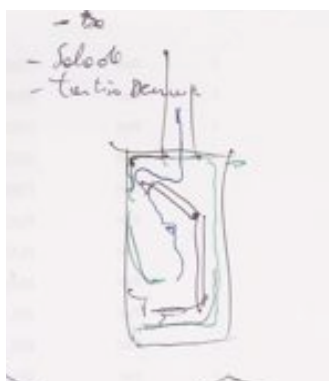


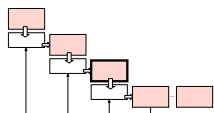
Fig. 187 - Nécessité d'une multi-modalité en conception.

#### 4.4. La capture et la traçabilité du «design rationale»

Nous achevons cette section en soulignant à quel point la traçabilité des décisions est cruciale tout au long de cette phase de travail collaboratif (comme l'analyse qualitative de l'étude ANOTO, entre autres, nous l'a révélé, cf. section 4.1.4 du chapitre 3). L'essence communiquée y est le support de nombreuses décisions, ou de nombreuses discussions entre collègues qui peuvent aboutir à de nouvelles pistes d'investigation. Cet épisode de la conception préliminaire peut même se transformer en une boucle itérative vers le premier stade de conception individuelle, distribuée : chacun retourne à son poste et tente de trouver d'autres solutions, d'autres variantes formelles et fonctionnelles qui répondent mieux aux multiples contraintes relevées par les expertises en présence.

Ces décisions et discussions s'accompagnent bien souvent d'une perte plus ou moins importante d'information : l'externalisation, si elle est le support efficace d'une communication et d'une collaboration, est moins efficace en ce qui concerne la capture d'un historique des points commentés (design rationale). Certaines décisions se perdent, les sujets oublient fréquemment ce qui a motivé certains choix, certaines annotations s'accumulent sur des supports généralement disjoints et visuellement très chargés et elles ne sont pas toujours traitées par la suite. Les annotations particulièrement présentent des durées de vie et des niveaux «d'urgence opérative» très différents, qu'aucun des objets médiateurs à disposition actuellement ne permet de gérer efficacement (les outils numériques qui pourraient supplanter le caractère statique et diffus de l'information écrite sur papier présentent des procédures trop longues et complexes que pour être effectivement utiles dans des contextes professionnels). La capture et la traçabilité des décisions et de l'historique du projet est donc cruciale à ce stade, d'autant plus que la phase suivante s'accompagne de nombreuses interprétations qui peuvent encore compliquer la «survie» de l'intention et de l'information.

## 5. Transfert et appropriation : vers l'expression synthétique de l'esquisse



A ce stade du projet, la variante sélectionnée par le collectif à la fin de l'épisode précédent va être modélisée via un des nombreux outils de Conception Assistée par Ordinateur dont les fonctionnalités ont été présentées en section 3.4 du chapitre 2. Pour

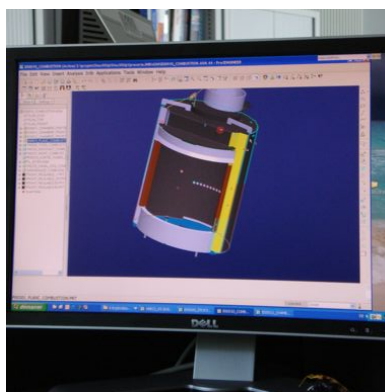
ce faire, l'essence communiquée sélectionnée (dont nous rappelons qu'elle peut être dessinée ou modélisée grossièrement) va être transférée à différents collaborateurs selon plusieurs modalités et va évoluer vers sa version synthétique (et, le plus souvent, technique). Si l'essence communiquée est un modèle esquissé, celui-ci va rester un référent géométrique et proportionnel distinct : la modélisation à ce stade est pratiquement toujours recommencée à zéro.

Les modalités de transfert et d'appropriation dépendent largement de la taille de l'équipe de conception, du temps et des moyens alloués au projet, mais aussi des niveaux d'expertise réciproques du «transférant» et de «l'appropriant». Ce transfert peut effectivement se faire vers un *dessinateur-modélisateur* ou, si ce type de collègue vient à manquer, vers un collègue *designer-modélisateur* (le designer pouvant, en dernier recours, également procéder à la modélisation lui-même).

L'impact des nouveaux collaborateurs et du dessinateur en particulier a déjà été abordé en section 3.1.4 du chapitre 3. Nous rappelons que, si la présence et l'intégration du dessinateur est de plus en plus marquée, nous ne nous intéressons que peu à l'étude de son activité propre. Nous nous intéressons plutôt à la manière dont cette intégration impacte l'activité du designer-concepteur (en termes de répartition des tâches, de modalités de collaboration etc.) ainsi qu'à ce que cette intégration révèle, en termes d'influence toujours plus forte des outils de CAO.

Quel que soit le collègue vers qui l'essence est transférée, qui va devoir la percevoir, l'interpréter et se l'approprier pour la modéliser, nous observons que le modèle 3D présente plusieurs caractéristiques récurrentes :

- l'environnement pré-existant, exploité dans la phase précédente, va être d'une grande aide toujours pour soutenir la synchronisation et soulager la mémoire, mais aussi pour gérer les conflits, tester les faisabilités techniques et de montage ;
- le modèle est souvent coloré, pour une bonne gestion des interconnexions entre pièces mais aussi pour la sélection visuelle rapide des pièces dans leur environnement complexe (figure 188) ;
- si un référent physique est dans la pièce, il va devenir le centre de l'attention, de tests et de simulations (cf. proto chez PRO\_COLLAB et chez ANOTO).



*Fig. 188 - L'expression numérique de l'essence synthétique et la mise en couleurs.*

C'est effectivement à ce stade que les prototypes (fonctionnels ou non) vont le plus souvent faire leur apparition, puisque le produit à concevoir voit son niveau d'abstraction suffisamment diminuer que pour pouvoir être évalué physiquement une première fois. Nous insistons sur l'énorme importance que prennent les prototypes au sein du processus de conception en design industriel (et mécanique, par extension). Ils sont considérés par plusieurs auteurs du domaine comme la clé du succès pour un processus de conception efficace et un produit de qualité (Houde & Hill, 1997; Yang & Epstein, 2005). Ce rôle crucial constitue encore une grande différence avec l'architecture, qui peut certainement être expliquée par les différences d'échelle et de marché abordées dans la section 2 du chapitre 2.

Le prototype constitue donc un objet médiateur important et est particulièrement utile pour évaluer et valider certains choix conceptuels, considérer l'objet dans ses proportions réelles et dans sa globalité (ce qui est rendu impossible par les dimensions réduites d'un écran d'ordinateur), signaler des erreurs et échanger des points de vue en équipe. Il arrive souvent que tant les designers que les dessinateurs y accèdent pour prendre des mesures, actionner un mécanisme ou évaluer un fonctionnement. Le prototype peut par là être assimilé à un outil de simulation puisqu'il permet au concepteur d'approcher en quelque sorte l'activité future : le concepteur peut évaluer les impacts de son acte de conception sur lui-même et sur ses collaborateurs ainsi que sur la situation, peut tester les fonctions et la structure de l'artefact futur (Darses, 2004). Il reste par contre particulièrement cher à mettre en oeuvre (coût, moyens, temps).

L'extrait du verbatim suivant donne un bel exemple de la relation qu'un designer peut perdre avec son produit s'il ne le considère qu'au travers de ses représentations dessinées (matérialisations de son idéal) ou qu'au travers des dimensions réduites de l'écran :

*«il y a un problème de forme, qui m'inquiète : c'est le trou sur le portillon [le trou qui devra laisser passer le système d'ouverture du registre d'air]. Je le trouve un peu grand et donc heu ... là, c'est même pas sur l'ordinateur qu'on le voit, mais c'est sur le proto ! Là aussi, c'est un gros, gros défaut de l'informatique, par rapport à l'écran, c'est qu'on a pas le réflexe de regarder l'objet dans sa taille réelle (1/1). (...) Je suis sûr que ça n'a choqué personne, vous voyez le trou ici ? aux réunions, jamais personne n'a dit ah, c'est un peu gros ... et maintenant, moi, je le trouve un peu gros. Et j'en discutais avec Céline, qui me dit ah oui, c'est un peu gros (...) mais ça, c'est la troisième étape, c'est sur le proto. C'est très difficile de donner son avis ... On nous dit parfois hé, vous avez le truc là, tout fini, toutes les pièces modélisées exactement comme elles devraient exister, c'est bon, tout devrait être bon, vous devriez être sûrs de votre coup là ! Mais non, quand on a le proto devant soi, c'est encore une autre étape. On a les proportions, ça balaye tout. Donc l'informatique, le papier (il fait un geste de la main) il y a rien de tel que d'avoir une maquette devant soi».*

Quant à l'extrait suivant, il décrit la «perte de vigilance» qu'un designer peut vivre au cours de la modélisation de son produit :

*«pendant qu'on a dessiné le Projet 2, pendant un an, un an et demi, on a dessiné des rayons de porte, des parements, des dessus, comme si c'était un Projet 1. Mais pendant un an, vous êtes là, sur votre ordinateur et puis après, on a lancé le premier proto et puis on arrive dans l'atelier... on se regarde tous ...on s'est pas gourés, là, les gars ? il n'y a pas une erreur d'échelle ou quoi ? on était tellement sûrs que le truc allait être gros, comme un Projet 1, que quand on a vu les pièces on s'est dit merde on s'est trompés dans l'échelle des pièces ... et puis pour finir on a assemblé le tout et non, c'était bien ça, mais pendant quelques secondes, on a eu une angoisse».*

Notons enfin que le degré de finition et le formalisme visuel des prototypes a un impact sur leur utilisation. La figure 189 par exemple présente un prototype très brut, avec ses tenons et points de soudure apparents, qui suscite des questions techniques très pointues, relatives au montage, à la production, à diverses faisabilités etc. Le second prototype de la même pièce (figure 190), à l'aspect formel mieux fini et intégré dans un environnement plus large (le poêle en entier) suscite quant à lui des questions relatives à l'aspect, au rendu visuel, à la «sensation» de résistance rendue par l'épaisseur de la tôle.



Fig. 189 (gauche) et 190 (droite) - Impact du formalisme visuel du prototype.

Les sections suivantes vont détailler les points cruciaux de cette troisième phase, à savoir :

- les différents types de collaboration, coopération et coordination qui peuvent se mettre en place et leurs impacts sur les usages des outils ;
- les deux principaux types de transferts et appropriations (designer - dessinateur et designer - designer) que nous avons pu observer, leur impact sur l'usage des objets médiateurs et respectivement la manière dont certaines caractéristiques des objets médiateurs peuvent les complexifier ;
- l'étape cruciale de détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition qui clôture cette phase et dont l'ampleur dépend notamment de la collaboration globale et de la justesse des interprétations.

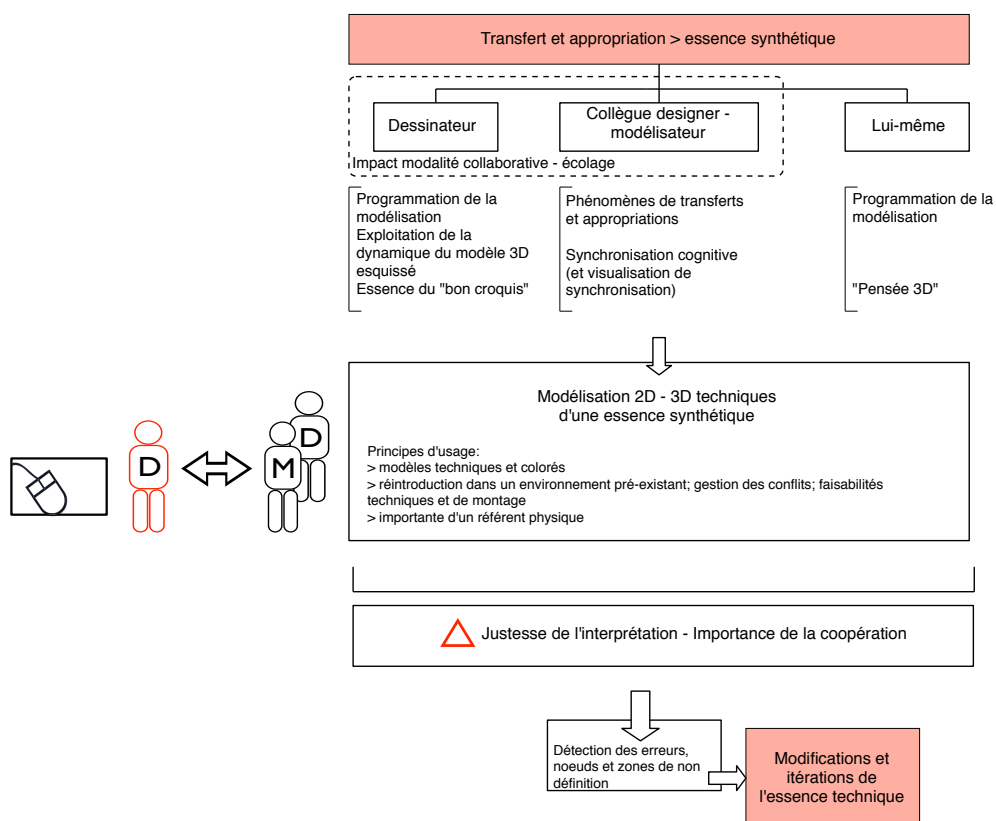


Fig. 191 - La troisième phase du scénario global : le transfert et l'appropriation d'une essence qui devient synthétique.

### 5.1. Modalités collaboratives de transfert et impact sur les usages des objets médiateurs

Les études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO principalement ont outillé la définition des différentes modalités collaboratives qui peuvent se mettre en place à ce stade et qui influencent la manière dont le transfert et l'appropriation de l'essence communiquée vont avoir lieu<sup>11</sup>. Ces modalités collaboratives sont bien celles d'un transfert d'information entre concepteur et modélisateur et sont donc distinctes des dynamiques de conception collaborative que nous avons pu observer dans la section précédente. Nous en relevons quatre, dépendantes des niveaux d'expertise en présence et des moyens mis en oeuvre durant le projet : la conception distribuée «pure» ; la co-activité ; l'écolage et ce que nous appelons la «co-habitation».

- La conception distribuée ou la coopération «pure».

Celle-ci apparaît entre Pierre et René chez PRO\_COLLAB, par exemple, ou entre Bruno et Pascal chez PRO\_DUO. Cette conception distribuée ou coopération pure se caractérise par un partage des tâches clair et des compétences suffisantes de part et d'autre que pour pouvoir aisément réaliser ces tâches. Pierre et René travaillent ensemble depuis longtemps et cette tradition de coopération se retrouve également chez Bruno et Pascal.

Pierre s'occupe de la conception, tandis que René assure la mise en modélisation et les retours en cas d'erreurs détectées. Le binôme se comprend bien et comme le dit Pierre : *«René connaît bien son travail, quand on lui dit - supprimer tenon sur traverse intermédiaire et mettre même jeu que sur un Projet 1, Projet 2 et Projet 3 - c'est clair, il est capable de comprendre»*.

Bruno et Pascal, de leur côté, assurent tous deux des tâches de conception. Leur collaboration, même s'ils poursuivent des objectifs propres, correspond plus à de la coopération tant les échanges sont intenses et équilibrés.

- La co-activité.

La coopération qui existe entre Pierre et René s'est construite en plusieurs années. Les débuts de leur collaboration a été entachée de phases de co-activité, causées par leur éloignement géographique et le fait que René, alors, ne connaissait pas bien les produits qu'il devait modéliser. Cette co-activité se traduit par des incompréhensions, des erreurs d'interprétation qui mènent à un processus ralenti par plus d'allers-retours pour corriger ces erreurs.

---

<sup>11</sup> L'expérimentation Tragere ne donne évidemment pas accès à une collaboration instantanée, tandis que pour Anoto la modélisation a été prise en main par le designer directement et n'a pas fait l'objet d'une observation dédiée.

Pierre dit à ce propos : *«quand René est arrivé, on l'a mis de l'autre côté de l'usine. Pendant la première phase, jusqu'au proto un, il y avait des incompréhensions, ... Oublis etc. Il ne connaissait pas le Projet 1 et devait dessiner le Projet 3, en repartant des plans du Projet 1, mais il ne connaissait pas vraiment le produit. Et moi j'étais dans mon bureau et on s'est vu 4 ou 5 fois et je n'ai pas eu l'occasion de le corriger. On a été tellement pris par le temps qu'on a travaillé chacun dans notre coin. Je n'ai quasiment pas corrigé d'erreurs, c'est le prototypiste qui a fait remonter tout ce qui n'allait pas. On ne s'est presque pas vu. Quasi au montage de ce foyer prototype un, il a du venir près de moi et du prototypiste et on a commencé à travailler, on a relevé tous les problèmes du proto un et on a commencé le proto 2».*

- L'écolage.

Cet écolage apparaît dès que l'un des deux intervenants en présence n'a pas le niveau d'expertise requis pour réaliser la tâche. Le lissage des compétences (du designer qui manipule les outils de CAO ou du dessinateur qui relève efficacement les erreurs de conception) permet généralement à l'expert d'aider le novice à se construire son référentiel de connaissances. Cela se traduit en pratique par de nombreux échanges en questions/réponses et par des écoutes flottantes de la part du novice, qui l'aident à acquérir l'expérience nécessaire.

Nous l'observons chez PRO\_COLLAB entre Pierre (designer expert) et Luc (dessinateur novice) ou entre René (dessinateur expert) et Pierre (designer déjà expert en modélisation mais rencontrant encore de temps à autre des difficultés).

- La co-habitation.

La co-habitation est une modalité particulière de collaboration que nous avons relevée chez PRO\_COLLAB et qui est directement liée à l'usage d'un logiciel particulier de gestion des documents appelé «SAP».

Arnaud (designer expert) et Stéphane (neuf dans l'équipe, mais dessinateur expert) se répartissent les tâches de modélisation pour un produit qui doit sortir dans des délais limités. Le référentiel commun est plus largement partagé qu'entre Pierre et Luc, grâce aux connaissances en ingénierie de Stéphane notamment. Ils modélisent donc chacun de leur côté la moitié du corps de chauffe et la difficulté tient en la gestion des pièces directement connectées à la limite (virtuelle et artificielle) définie entre les deux parties du produit.

Avant l'apparition de l'outil de gestion et de partage des droits SAP, les sujets devaient sans cesse synchroniser et coordonner leurs actions, afin de s'assurer que les modifications qu'ils faisaient subir à une pièce proche de la limite n'impactaient pas les pièces voisines, traitées par le collaborateur. Ils disent à ce sujet : *«on faisait informatiquement x copies en fonction du nombre de personnes travaillant sur le projet et en fin de journée, on rassemblait tous les dessins pour gérer les conflits de double modifs sur une même pièce etc. C'était énorme, ça prenait 8 h».*

Aujourd'hui, le logiciel SAP leur permet de se partager des droits sur les pièces d'interface. Le travail s'effectue en plusieurs phases. Tout d'abord les opérateurs

doivent déclarer sur quelle pièce de l'assemblage ils désirent travailler et acquérir les droits sur cette pièce. En se l'appropriant, ils sortent la pièce de ce qu'ils appellent un «coffre-fort» commun. Chaque opérateur peut ensuite modifier à loisir la pièce et en fin de journée chacun ré-importe la pièce ainsi modifiée dans le coffre-fort. Le programme SAP met ainsi tout le modèle à jour. Les conflits sont évités grâce au logiciel, qui connaît les relations qui existent entre les pièces et n'autorise pas les modifications qui entraîneraient un impact quelconque sur les pièces pour lesquelles l'utilisateur n'a pas acquis les droits.

Ce gestionnaire requiert des utilisateurs qu'ils modifient quelque peu leur manière de modéliser. En effet, le modèle doit être construit de manière à limiter au maximum les interfaces entre les pièces. D'après Arnaud, c'est antinomique avec la manière de travailler habituelle : *«quand on crée, on sait difficilement dire à l'avance ce qu'on va dessiner et donc les interfaces avec les autres pièces»*. Cette nécessité de définition préalable des interfaces est assez contraignante, pour Arnaud particulièrement qui dit *«je n'arrivais pas à le faire au début : il me faut dessiner un peu, définir les interfaces topologiques de manière assez précise pour que ça fonctionne»*. Il relève par ailleurs d'autres difficultés : *«le plus gênant c'est de modifier par erreur une pièce qui n'est pas hors du coffre-fort. On la modifie sans s'en rendre compte, car pour travailler on affiche tout de même l'ensemble du poêle pour avoir tous les éléments de contexte. Et une fois qu'on se rend compte de l'erreur, il n'y a plus moyen de la remettre dans le coffre dans sa forme originale, ou en tout cas c'est très compliqué. On a du avoir recours au concepteur [du logiciel] pour y remédier»*. Il ajoute que *«un autre souci est que pour modéliser une pièce faisant partie d'un assemblage, il faut avoir les droits sur l'assemblage de tête. Mais comme on travaille à plusieurs sur un même assemblage, on a tous besoin des droits, ce qui n'est pas possible... alors c'est difficile pour la répartition des tâches. Pour le moment on bricole en annonçant à l'ordi qu'on a rien modifié»*.

Les fonctionnalités du logiciel de partage ont dû donc être modifiées pour mieux correspondre aux besoins neufs des concepteurs : cette déviation d'usage démontre leur capacité d'adaptation face aux limitations de certains objets médiateurs et reflète également le lien étroit entre usage des outils et répartition des tâches.

La répartition des tâches impacte donc leur collaboration et cette collaboration est elle-même fortement influencée par l'outil de modélisation et de partage des références qu'ils utilisent.

## 5.2. Les différents phénomènes de transfert et appropriations

### 5.2.1. Transferts et appropriations designer - dessinateur

L'objectif de l'étude des transferts entre designers et dessinateurs est de comprendre quels mécanismes perceptifs les sujets dessinateurs mettent en oeuvre et quelle essence ils perçoivent, tout en faisant l'hypothèse qu'ils sont a priori moins enclins à s'approprier et ré-interpréter l'esquisse qu'ils reçoivent. Leur relative neutralité face à la représentation à traiter nous apporte des indices qui pourraient être utiles à la mise au point d'un système d'assistance.



L'étude PRO\_COLLAB et ses entretiens consécutifs ainsi que les verbalisations des expérimentations de TRAGERE fournissent les résultats qualitatifs présentés ici : ils sont relatifs dans un premier temps aux processus de «programmation de la modélisation» et de la «pensée 3D» que les dessinateurs doivent mettre en oeuvre lorsqu'ils reçoivent l'esquisse du designer et dans un second temps aux qualités perçues et espérées de l'esquisse.

Le dessinateur, en recevant l'esquisse (papier ou numérique) de la part du designer, va devoir développer plusieurs stratégies pour mener à bien sa tâche de modélisation : stratégies visuelles (utilisation de couleurs pour distinguer les pièces modélisées) mais aussi de modélisation (choix de modéliser plus ou moins en détail certaines pièces, en fonction de leur méthode de production, de leur achat en standardisé etc.).

En outre, il va devoir programmer sa modélisation : le passage d'un support papier 2D (même si la représentation est une perspective) à un environnement virtuel 3D ne se fait pas sans difficultés et une réflexion initiale doit être faite pour savoir comment décomposer la pièce complexe en sous-éléments plus facilement modélisables. La question du *comment modéliser* se pose effectivement plus souvent que celle du *quoi modéliser* et cette première phase d'abstraction de la représentation pour la mise au point d'une stratégie efficace (de gain de temps et de construction d'un arbre de référence cohérent, cf. plus bas) est indispensable.

Cette programmation de la modélisation se fait bien entendu en parallèle d'un mécanisme de perception et compréhension de l'esquisse à transférer. La verbalisation de ces mécanismes hautement implicites étant très difficile, nous avons préféré demander aux dessinateurs de lister d'une part l'essence d'une esquisse (qui correspond à ce qu'ils perçoivent en général) et d'autre part ce qu'ils considèrent être les caractéristiques d'un «bon croquis» (ce qu'ils espèrent voir apparaître sur le papier) pour espérer approcher plus facilement ces principes perceptifs.

L'essence de l'esquisse (ou les key-features immédiatement perçues, conservées en mémoire et facilement verbalisables), dont on questionnait la nature en section 4.6 du chapitre deux, est composée des éléments suivants :

- les courbes et toutes les formes qui ne sont pas vraiment planes. A ce propos, Stéphane dit : *«ce qui va donner la forme à la pièce, ce sont ses courbes fonctionnelles, qui sont d'ailleurs les plus difficiles à modéliser - soit des plis, soit des courbes, ... ce que je vais regarder en premier, ce sont les formes qui sont différentes du cercle et encore le cercle je regarde aussi, parce qu'ils ont des axes. Les axes sont toujours importants. Tout ce qui est complexe finalement»* ;
- les lignes de force, en plus généralement tous les traits de structure qui informent le dessinateur du profil volumétrique de l'objet, déjà abordés en section 3.1.3 du chapitre 4 ;
- les «noeuds techniques» et les «points durs», que le dessinateur peut reconnaître facilement à condition d'avoir un minimum d'expertise dans le domaine ;
- le principe cinématique de l'esquisse (figure 192) : les dessinateurs ont souvent recours à des schémas simplificateurs topologiques et cinématiques qui les aident à

mieux comprendre le fonctionnement de la pièce représentée. Ils notent ainsi les points d'articulation, les formes, ce qui va bouger ... et tentent de retranscrire le tout en un schéma de fonctionnement cohérent ;

- les interfaces de la pièce avec ses voisines : toutes les pièces liées géométriquement à l'élément en cours de modélisation prennent énormément d'importance. Le dessinateur doit évaluer dans quelle mesure il peut les modifier, les bouger, ... La présence et les caractéristiques d'un «environnement pré-existant» sont cruciales pour la définition de ses marges de manoeuvre. Stéphane dit à ce propos : *«Quand il s'agit d'une pièce seule, sans interaction avec d'autres, c'est très facile à intégrer. C'est qu'un volume d'encombrement ...et une fonction ... Il suffit de savoir où tu peux aller et pas aller. Ce n'est qu'un trait dans une esquisse qu'il faut modifier. Ce qui va être beaucoup plus complexe, ce sont les branchements (...) il faut respecter les angles, les distances, rester dans le volume général.»* ;
- et enfin les «surfaces fonctionnelles», c'est-à-dire des surfaces qui doivent être définies précisément car elles remplissent une fonction précise (comme, par exemple, les pièces qui viennent boucher une ouverture).

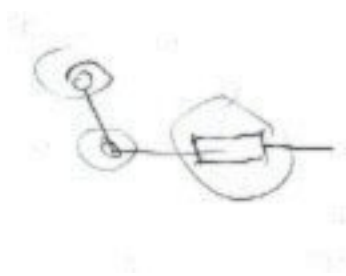


Fig. 192 - Un schéma cinématique avec ses rotules.

Les caractéristiques du «bon croquis» constituent, pour un dessinateur, l'information minimale qui doit apparaître sur la feuille pour pouvoir facilement être transmise à l'écran<sup>12</sup>.

D'une manière globale, les dessinateurs semblent se contenter de toutes sortes de croquis : dessins filaires, plus «touffus», en 2D ou perspective, colorés ou non... Le seul consensus relevé est la nécessité d'accompagner le dessin d'une courte explication orale (cf. nécessité de la multimodalité présentée plus haut). Voici les autres déclarations à propos du «bon croquis» :

- les noeuds technologiques et «points durs» (point par lequel une courbe doit absolument passer) doivent être clairement soulignés ;
- un dessin assez grand, avec des traits «assez gros» pour accrocher l'oeil ;
- un dessin avec toutes les annotations, flèches en cas de mouvement, lignes de force, commentaires, ... qui puissent apporter un complément d'information ;

---

<sup>12</sup> L'essence et les caractéristiques de la «bonne modélisation esquissée» correspondent largement aux qualités visuelles que les designers lui attribuent déjà durant les phases une et deux (couleurs, interfacage clair entre les pièces, ...). La fonctionnalité de visualisation dynamique est bien entendu largement exploitée dans ce cas, mais compliquée par l'interaction avec la souris.

- certains trouvent le dessin en perspective beaucoup plus parlant, «à condition que la personne sache dessiner». Les perspectives peuvent s'avérer en effet extrêmement trompeuses : les angles et les proportions peuvent être faux et/ou mal perçus ;
- une vue en élévation ou en coupe peut être plus utile lorsque l'on veut signaler des cotes ou le positionnement d'une pièce par rapport à une autre. La perspective, comme nous l'avons vu à la figure 118 de la section 3.1.2, reste plus appréciée pour la compréhension des mécanismes globaux et le soutien à la synchronisation ;
- les dessins globaux, mettant en évidence les «environnements» dont nous parlions plus tôt, sont toujours considérés comme plus clairs.

Cette essence se traduit visuellement par des traits qui ne sont pas particulièrement retravaillés par le designer et qui correspondent donc à l'essence communiquée (communicable, s'il n'y a pas eu de modifications de la part du collectif) de la section précédente.

#### 5.2.2. Transferts et appropriations designer - designer et complexification de ces mécanismes

Le second mécanisme de transfert et d'appropriation que nous avons pu observer a lieu entre le designer-concepteur et son collègue le designer-modélisateur ou le designer-interpréteur. Certaines des données qualitatives sont issues des études PRO\_COLLAB et PRO\_DUO, tandis que la totalité des données quantitatives sont issues des expérimentations ciblées de TRAGERE. Cette dernière ne traduit que des transferts dessinés et se concentre sur l'analyse des caractéristiques graphiques des traits transférés et appropriés.

La première étape du transfert, dans des situations écologiques, correspond le plus souvent à une étape de synchronisation cognitive, de visualisation de synchronisation et de remise dans un environnement plus large dans les cas où le designer-modélisateur n'a pas participé au processus collaboratif de sélection de la variante (fin de l'épisode 2 de la conception préliminaire). Des phénomènes de programmation de la modélisation et de «pensée 3D» peuvent également être développés par les designers-modélisateurs, mais sont généralement facilités par leur excellente vision dans l'espace et leur expertise dans le domaine. Les transferts à partir d'une base dessinée vers l'outil de CAO sont plutôt complexifiés par les compétences parfois limitées du sujet designer en modélisation numérique ou les lourdeurs d'encodage propres au logiciel.

Le meilleur exemple qu'il nous ait été donné d'observer est le «moment de conception numéro 13» chez PRO\_COLLAB, phase de modélisation individuelle directement consécutive à une revue collaborative de l'objet en conception (en présence du responsable de l'équipe, du chef de projet et du prototypiste).

Durant les 42 minutes et 56 secondes qu'aura duré la séquence, le designer ne modélise que deux plats (il les conçoit et les positionne sur le modèle 3D pré-existant). Le sujet développe d'excellentes aptitudes à la modélisation 3D, manipule le logiciel 3D depuis longtemps et connaît bien le corps de chauffe dans lequel la pièce doit

s'intégrer. On peut donc se demander pourquoi le processus est si consommateur de temps.

Certains éléments du contexte complexifient tout d'abord son processus. Le designer-modélisateur se trouve face à un problème complexe de transfert :

- la pièce à modéliser n'est pas complètement définie sur le papier (certaines zones d'ombres subsistent), est dessinée en élévation (en 2D) et doit être intégrée dans un modèle 3D pré-existant. Cet environnement est techniquement complexe et pousse le designer à veiller aux conflits, aux assemblages, aux faisabilités (jeux, montage) très tôt au cours de son processus car le modèle doit être envoyé rapidement en prototypage ;
- le fait qu'il n'ait pas modélisé lui-même le modèle d'environnement complexifie sa tâche. L'arbre de référence du modèle (dont on trouvera une description en Annexe 9) n'est pas le sien : il perd du temps à naviguer au sein de sa structure et à retrouver des pièces qu'il n'a pas nommées lui-même. Il prend cependant soin d'en respecter la construction, car un arbre de référencement cohérent et bien construit est la condition pour pouvoir à tout moment revenir en arrière et retrouver une ancienne version ;
- il réfléchit longtemps avant d'effectuer tout acte de modélisation qui pourrait impacter d'autres pièces du modèle. Le logiciel ne fournissant au départ aucune fonctionnalité de gel des attributs, le designer doit contourner cette limitation et dévier certains usages pour pouvoir néanmoins protéger certaines pièces de toute modification (il désactive en réalité dans l'arbre les pièces qui ne peuvent être modifiées - tâche totalement superflue, ne correspondant pas à un schéma traditionnel et pourtant indispensable s'il veut se prémunir de toute modification en cascade) ;
- malgré l'usage expert qu'il fait du logiciel, certaines micro-tâches ralentissent son processus. Il perd ainsi énormément de temps à chercher les fonctions dans les menus, à continuellement devoir valider ses actes, tandis que les protocoles de définition de géométries simples sont relativement longs (pour dessiner une pièce rectangulaire, il définit d'abord un plan de création, puis dessine un rectangle de dimensions quelconques, puis le sélectionne et en modifie les cotes).

La durée du processus peut également être liée à la contrainte temporelle et à la nécessité d'envoyer rapidement les pièces aux prototypistes : le designer ne prend pas le temps d'esquisser et de tester rapidement plusieurs variantes et préfère entamer immédiatement une modélisation très détaillée, en dépit des zones de non-définition qui subsistent encore. Il fusionne en quelques sorte, dans l'espoir de gagner du temps, phase de conception et de mise en détail, sous la pression temporelle<sup>13</sup>. Cette fusion des processus implique également un temps de maturation et de manipulation de l'objet tridimensionnel beaucoup plus long que nécessaire, avant de pouvoir réellement

---

<sup>13</sup> Il nous semble qu'il aurait finalement gagné du temps à poursuivre la conception de la pièce via un support esquissé (papier ou numérique) avant de se lancer si tôt dans une phase de mise en détail, finalement très consommatrice en temps.

procéder à sa définition. Un micro-processus de conception semble ainsi se répéter (qui se retrouve également dans la figure 145 de la section 3.3) : il visualise en mode plein le modèle 3D et la partie de la pièce qu'il a déjà modélisée ; il réalise qu'une modification doit être faite et doit passer en visualisation de la pièce seule, puis de la pièce en 2D pour pouvoir la modifier. Il revérifie ensuite, dans le modèle 3D global, l'impact de la modification qu'il vient de réaliser et ainsi de suite.

Outre les nombreuses manipulations qu'une telle conception nécessite, il semble que ce processus de «conversation réflexive» avec ce modèle détaillé (sans esquisse papier ou numérique préalable et sans que la pièce ne puisse être l'externalisation d'une image forte) soit le moins efficace de tous les processus de conception que nous ayons pu observer.

Le transfert dessin-dessin entre deux designers, tels que nous l'avons analysé durant TRAGERE, répond lui à d'autres principes.

Les figures 193 et 194 nous apprennent tout d'abord que l'esquisse dessinée du «designer 0» est largement soit totalement négligée, soit partiellement modifiée et que lorsqu'un dessin (ou une partie de dessin) est récupéré, c'est le plus souvent pour être modifié. Un faible pourcentage de designers semble avoir évalué visuellement le croquis pour ensuite en retranscrire certaines parties, tandis que le pourcentage de récupération totale et fidèle est très faible (et peut en réalité être quasiment complètement attribué à une stagiaire que la timidité ou le manque d'expérience ont poussée à recopier quasi entièrement la solution proposée). Le protocole de transfert et de réappropriation d'une esquisse entre designers n'a pas donc eu l'effet escompté : seules 42 % des occurrences pourront nourrir l'analyse des key-features réellement transférées (il n'empêche que les sujets D0 ont tous volontairement appuyé le transfert de leurs traits et que les sujets D1 ont tous volontiers verbalisé leur perception, même lorsqu'ils ne désiraient pas récupérer les traits). Nous observons par ailleurs que l'appropriation, si elle mène le plus souvent à une modification, est très rarement erronée. Le partage du référentiel commun entre designers (même de secteurs différents) assure donc une perception globale correcte du projet en cours de transfert et d'appropriation.

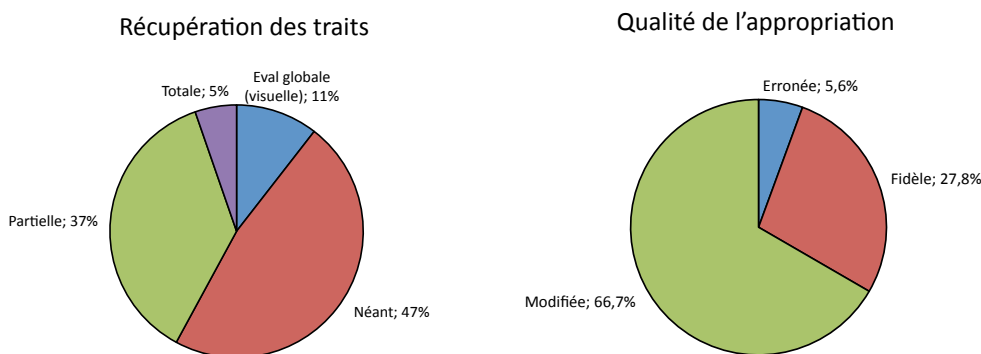


Fig. 193 (droite) et 194 (gauche) - Mode de récupération des traits et qualité de l'appropriation chez les 5 designers D1 (en pourcent d'actions, Tragere).

Certaines données recueillies nous apportent cependant d'intéressants résultats. La figure 195 démontre l'importance de la globalité de la représentation sur ses composants : en respect des lois Gestaltistes, ce sont les profils globaux des dessins qui ont été le plus largement récupérés et retravaillés, tandis que les composants (détails, annotations) ont eux été plus largement négligés. Notons au passage que sur 100 % de respect fidèle, plus de 80 % concernent les profils globaux. Les designers auraient donc plus tendance à respecter l'idée générale que les composants<sup>14</sup>. La figure 196 montre le type de récupération en fonction du type de représentation. La répartition est globalement équilibrée, bien que les coupes semblent faire l'objet de plus d'attention et de récupération totale (peut-être parce qu'elles présentent un contenu plus détaillé et spécifique). Les annotations, étonnamment, sont totalement ignorées : le caractère personnel de l'écriture en complexifie peut-être la lecture et l'appropriation.

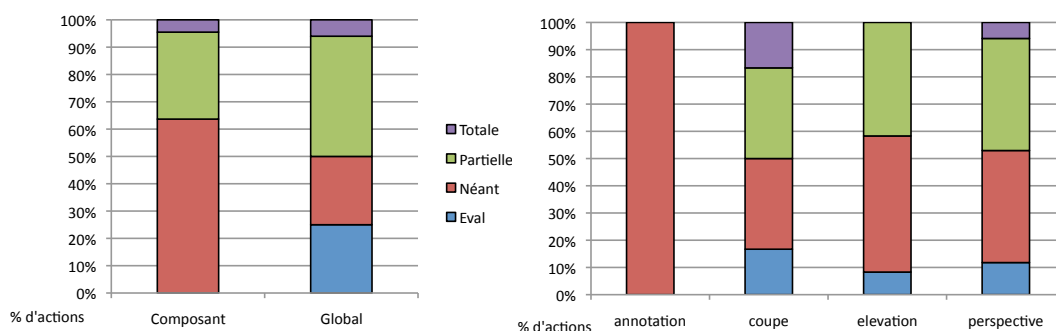


Fig. 195 (gauche) et 196 (droite) - Perception affirmée de la globalité et type de récupération en fonction du type de représentation (chez Tragere).

14 A l'échelle du projet entier, le détail ou le composant relève par exemple de l'assemblage des pièces. A l'échelle d'un assemblage, par contre, le composant sera la vis.

Il est intéressant de constater que ce sont les courbes principales qui sont la plupart du temps partiellement et totalement récupérées (figures 197 et 198), tandis que les courbes secondaires sont elles simplement évaluées visuellement voire totalement négligées. Ce constat renforce l'importance à donner aux traits principaux, vecteurs de la communication et de l'essence du projet.

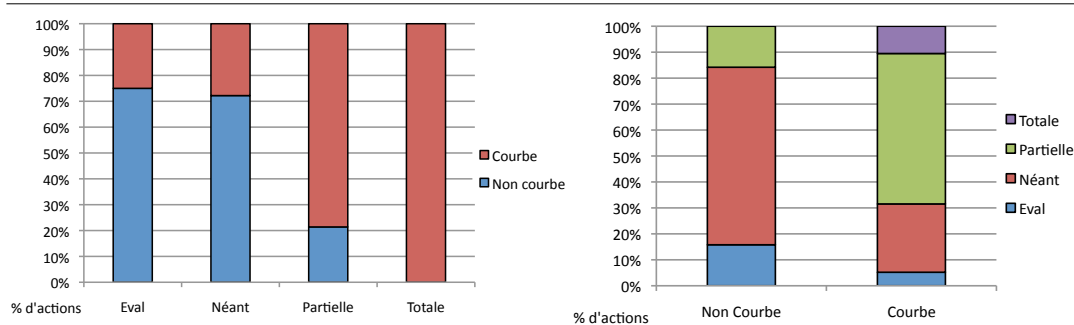


Fig. 197 et 198 - Résultats du tableau croisé : lien entre type de récupération et type de courbe (chez Tragere). [Eval] = évaluation visuelle.

L'objectif de la figure 199 était d'évaluer si ces courbes principales récupérées étaient bel et bien principalement constituées de traits cristallisés. Contre toute attente, le diagramme exprime que les traits cristallisés sont largement négligés, qu'ils concentrent cependant toutes les récupérations totales et que les cycles de traits «f-r» et «f-r-c» provoquent plutôt des récupérations partielles. Cette proportion de 75 % des traits cristallisés négligés nous interpelle, d'autant plus que nous verrons qu'en moyenne deux tiers des traits cristallisés sont bel et bien des courbes principales (figure 217 chap. 5) et que nous venons d'observer que 68,4 % des courbes sont soit partiellement soit totalement récupérées. C'est finalement une analyse plus qualitative qui nous apprendra que sur la totalité des traits cristallisés négligés, 2/3 le sont par un seul et même designer qui semble avoir décidé qu'il ne considérerait absolument aucun des traits cristallisés à disposition. La capture de ce biais causé par un sujet particulier rappelle combien il est crucial de ne pas considérer les données que sous un angle quantitatif.

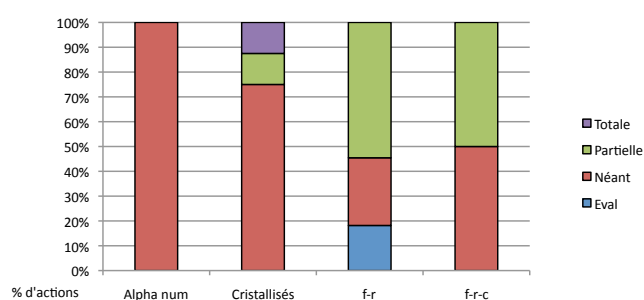


Fig. 199 - Récupération des différents types de traits (chez Tragere).

La dernière figure nous apprend que les erreurs surviennent uniquement sur les «non-courbes» et ont donc peu d'impact sur la qualité de la récupération et de l'appropriation (figure 200). Elle démontre également que même si les courbes principales sont récupérées, c'est pour être ensuite largement modifiées, ce qui complexifie encore la récupération systématique des traits qui pourraient effectivement être utiles aux designers.

---

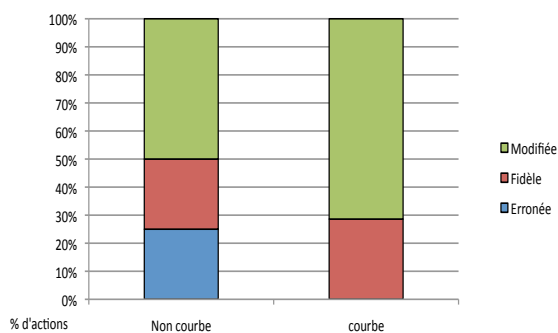


Fig. 200 - Qualité d'appropriation des courbes principales (chez Tragere).

---

Nous retenons de cet épisode :

- que les key features de transfert (qui sont bien les mêmes que les key features en situation de conceptualisation individuelle, telles que dans PRO\_DUO) pourraient devenir les bases saines d'une éventuelle capture automatique (et d'une interprétation, si elles n'étaient pas ensuite sujettes à autant de modifications) ;
- que les transitions mentales sont différentes entre designers et dessinateurs, soit entre auteur du dessin et interpréteur ;
- que pour les modélisateurs, une «pensée Pro-E» et «SAP» se développe, qui peut ou non être en adéquation avec les schèmes mentaux ;
- que pour les dessinateurs, une «programmation» de la modélisation et une extraction de l'essence du dessin sont faites anticipativement à la modélisation.

### 5.3. Détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition

Cet épisode de la conception préliminaire s'achève avec une phase cruciale d'itérations et de détection des erreurs (formelles<sup>15</sup>, mais le plus souvent techniques) qui ont pu se glisser dans l'esquisse, la détection bénéficiant du caractère dynamique de la modélisation 3D. La modélisation évolue vers sa version synthétique (i.e., qui synthétise les solutions trouvées collaborativement à toutes les contraintes traitées) et

---

<sup>15</sup> Chez Pro\_duo, le designer a pu réaliser que une de ses courbes n'était pas assez «tendue».



qui coïncide peu à peu enfin avec la version détaillée de mise en plan de production. Cette section illustre les trois mécanismes de détection que nous avons pu observer : la détection des erreurs, des noeuds techniques et des zones de non définition.

Un bon exemple de détection de l'erreur nous est fourni au travers d'une des analyses rétrospectives de PRO\_DUO. Le projet en question concerne la conception d'une valise de transport pour un matériel médical particulier. Après avoir modélisé la valise, le designer détaille l'accroche des sangles pour son transport et réalise que son esquisse dessinée comporte une erreur : il n'a pas pensé à l'intégration d'un logement pour ses charnières dans le profil même de la valise, tant et si bien que si l'on déposait celle-ci au sol elle ne pourrait se stabiliser. Nous verrons dans les sections suivantes comment il résout ce problème.

Le modélisateur peut également, grâce au modèle 3D, détecter des «noeuds techniques», ou zones du dessin auxquelles il n'a pas été apporté suffisamment d'attention et qui mériteraient un développement technique ou autre plus approfondi. A l'extrême, ces noeuds techniques peuvent devenir des zones que nous appelons de «non définition», qui consistent en des parties de l'esquisse qui n'ont pas du tout été solutionnées. Le plus souvent la représentation esquisse quelques concepts (mais ne va pas plus loin pour des raisons d'échelle ou à cause de l'aspect statique du dessin), concepts dont le degré d'abstraction empêche toute interprétation et modélisation. Le designer assume qu'elles pourront être traitées plus tard au cours du processus.

La conception du coin jeu de PRO\_DUO recèle quelques zones de ce type, particulièrement au niveau de la conception de la poubelle dont le cahier des charges stipule qu'elle doit être intégrée au sein du coin jeu et qu'elle ne peut contenir que des billets de loterie usagés. Le designer, dont on rappelle qu'il développe le coin jeu en conversation réflexive avec ses représentations, esquisse sur papier très rapidement une première proposition pour la forme de cette poubelle, mais n'approfondit pas l'étude de ce composant. Le modèle CAO permet de détecter très rapidement que le galbe cintré proposé (cf. figure 201) ne conviendra pas parce qu'il rentre en conflit avec le galbe général du coin jeu tout entier. Si cette itération peut être assimilée à une erreur, nous dirons plutôt que le designer n'a pas souhaité explorer toutes les faisabilités pour cet objet au stade de l'esquisse et a laissé sa définition pour une phase ultérieure. Arrivé au point de la détection de cette non-zone, il va ensuite directement concevoir via la CAO les plats de référence qui structureront la poubelle, qu'il dispose dans l'espace d'encombrement encore libre et clairement appréhendable tri-dimensionnellement. La CAO lui permet donc d'atteindre plus rapidement une solution (bien qu'il ait perdu du temps à esquisser à l'écran la première proposition en galbe cintré).

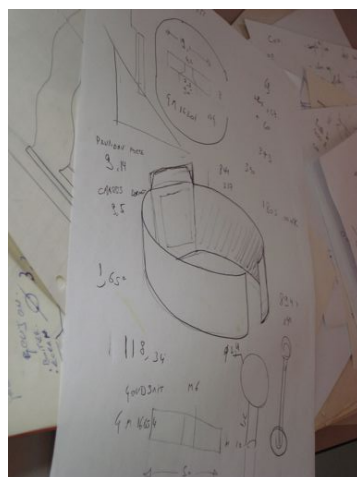


Fig. 201 - Esquisse dessinée et zone de non définition.

Plus loin dans la résolution de la forme de la poubelle, le designer réalise que l'ouverture courbée qu'il avait prévue via le dessin rentre une fois de plus en conflit avec le projet général. La CAO révèle que la seule solution possible, dans cette configuration, est une ouverture rectiligne positionnée latéralement. La CAO dans ce cas «limite» le champ d'exploration conceptuel mais dans un mouvement constructif et efficace, via la prise en compte d'une contrainte réelle. Ce processus peut être assimilé à ce que Robertson et Radcliffe (2009) appellent la *positive premature fixation* (cf. section 3.4.2 chapitre 2).

Nous achevons la description de cet épisode en soulignant l'importance que prennent la justesse de l'interprétation, la qualité de la synchronisation et de la collaboration/coopération en jeu : si les informations de l'essence synthétique sont insuffisantes ou incorrectement communiquées (cristallisées), des interprétations hasardeuses peuvent survenir qui compliquent l'ensemble de la collaboration et nécessitent de nouvelles boucles itératives (autrement superflues). Les transferts peuvent effectivement s'accompagner d'appropriations erronées ou déviées, qui, si elles peuvent mener à de nouvelles variantes plus intéressantes, peuvent également complexifier le travail de contrôle du designer-concepteur.

A l'opposé, le dessin et son auteur peuvent s'avérer hyper-prescriptifs : le modélisateur n'aura pas l'occasion de faire valoir les variantes plus adaptées qu'il aurait pu développer. Cet aspect de la modalité collaborative est largement gouverné par les relations de pouvoir et hiérarchiques entre collègues dont l'étude sort du cadre de ce travail.

Plusieurs boucles itératives semblables (toujours impactées par la modalité collaborative en place) peuvent survenir, de manière à récupérer les erreurs, proposer d'autres variantes pour les noeuds et aller plus loin dans la résolution de zones de non définition. La phase suivante décrit comment le dessin, une fois de plus, peut participer à la résolution de ces problèmes détectés tardivement.

## 6. Modifications, itérations et évolution des niveaux d'abstraction : vers l'expression technique d'un modèle détaillé

La modélisation du projet à ce stade provoque un processus de conception plus «précautionneux» : l'essence du projet synthétise de plus en plus de décisions et de contraintes (dont il faut assurer la pérennité et la cohérence) et la modélisation numérique, en se détaillant, devient de plus en plus coûteuse en temps et en moyens. L'outil de CAO, nous l'avons vu, permet de détecter des erreurs, zones de non définition et noeuds techniques qui trouvent solution au cours d'une dernière boucle itérative. Cette boucle génère une essence intermédiaire et dont l'étude fait l'objet de la présente section.

La figure 202 présente l'évolution chronologique des niveaux d'abstraction des quatre études qui ont nourri notre compréhension des processus. Cet amas de courbes est graphiquement visuellement intéressant car il traduit une évolution globale des quatre contextes d'un haut niveau d'abstraction (l'intention) à un bas niveau d'abstraction (les spécifications). L'essence que nous traitons dans cette section se situe entre le niveau «caractéristique physique» et le niveau «spécification».

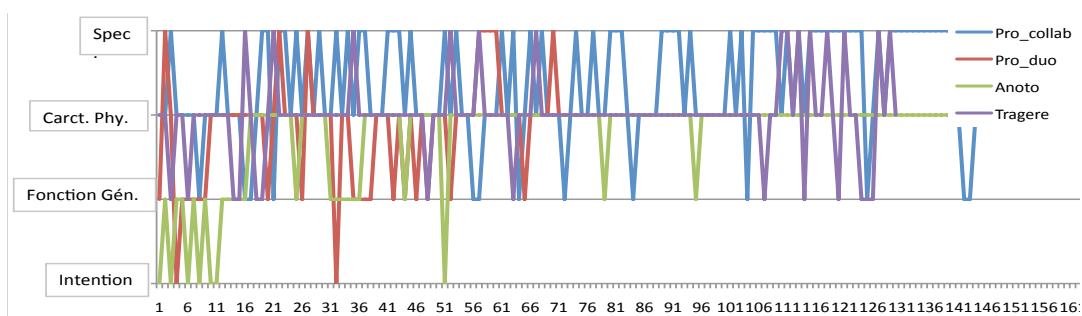


Fig. 202 - Evolution chronologique des niveaux d'abstraction. En abscisse, les actions pour lesquelles ces valeurs ont pu être codées.

La phase technique qui est traitée ici peut encore inclure plusieurs modifications et itérations et elle peut être intégrée dans la conception préliminaire pour plusieurs raisons :

- cette phase fait encore appel à différents objets médiateurs et les allers-retours sont encore fréquents. Si le dessin fait encore partie du processus, on peut considérer, comme de nombreux auteurs, que la phase de mise en détail pure n'est pas entamée ;

- elle intègre, comme nous le verrons, deux derniers points de synchronisation qui peuvent provoquer des boucles itératives et des modifications d'envergure ;
- elle tolère (bien que plus difficilement) la coexistence de plusieurs variantes évoluant en parallèle.

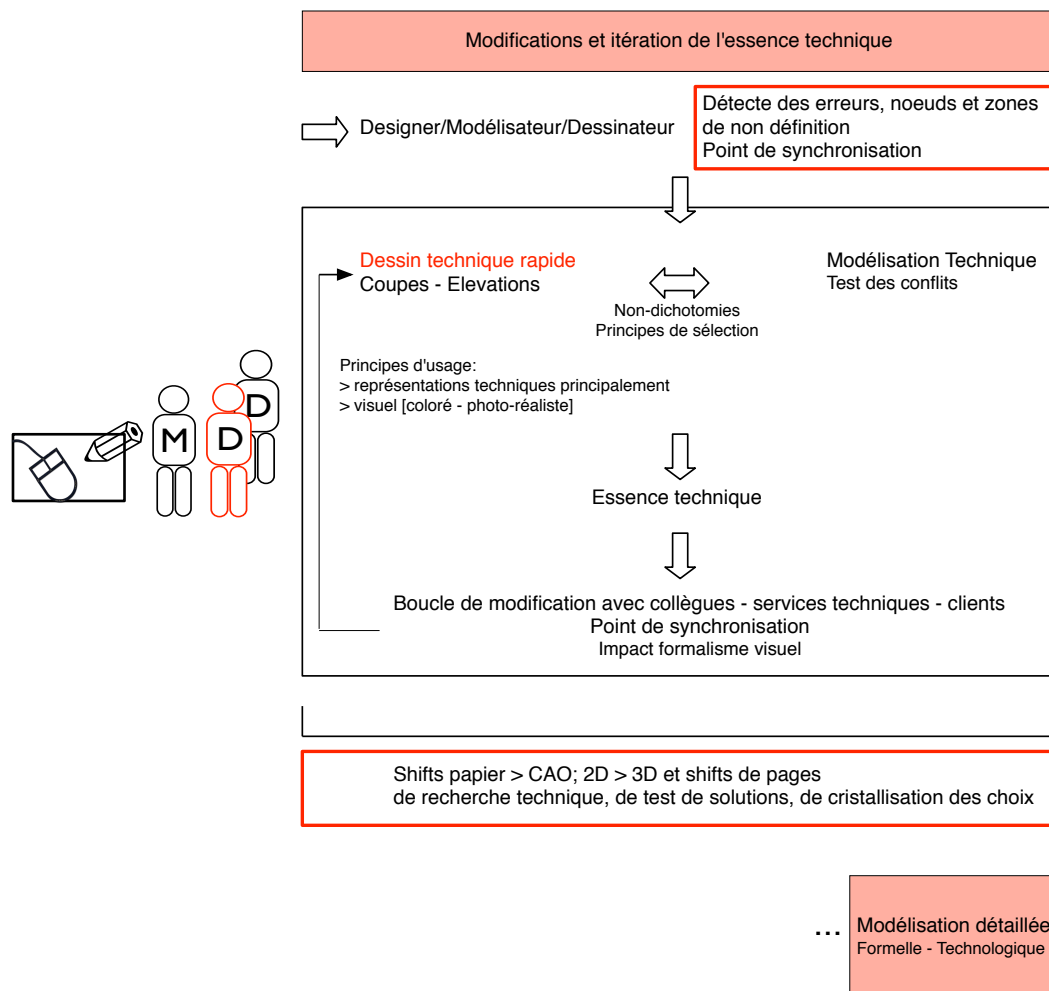


Fig. 203 - Quatrième et dernière phase du scénario global : modifications et itérations de l'essence technique. En rouge vif, les nécessités d'une assistance.

La détection des erreurs et zones de non définition de la section précédente provoque généralement un point de synchronisation entre le designer en charge et ses collègues proches et ouvre donc la voie à une ultime exploitation d'un objet médiateur pour la résolution de problèmes de conception.

Une fois de plus, cet objet médiateur peut être soit le dessin, soit un modèle numérique. Le dessin, toujours rapidement exécuté et flou, est cette fois résolument technique et se traduit par des coupes, des élévations sur fonds de plan et parfois quelques perspectives. L'exploitation du dessin à main levée à ce stade avancé de la conception confirme sa polyvalence : il articule bel et bien une multiplicité de niveaux d'abstraction (cf. section 3.5.3 du chapitre 2). Le modèle numérique technique

rapidement exécuté lui aussi peut encore être considéré comme esquissé si, à l'instar de la modélisation esquissée des phases précédentes, il n'intègre que quelques cotes rondes de référence. Le modèle est coloré, voire photo-réaliste à ce stade du projet (s'il est par ailleurs ensuite rapidement proposé à la clientèle).

Dans les deux cas, l'objet médiateur sert une fois de plus à tester rapidement plusieurs variantes (test de conflits, de positionnement, de fonctionnement pour le dessin ; réintroduction dans un environnement complexe, tests volumétriques et proportionnels complémentaires via la CAO). La mise au point des représentations se fait de manière toujours plus précautionneuse : plus l'on s'approche du niveau ultime de mise en détail, plus le designer a tendance à vérifier plus précisément ce qu'il dessine et à réfléchir à tous les aspects qui pourraient provoquer un gain ou une perte de temps (il vérifie des dimensions standardisées dans des catalogues par exemple ; s'interroge quant aux méthodes et techniques de montage etc.).

Le dessin peut faire usage de la couleur, mais d'une manière très terre-à-terre, principalement comme vecteur de conversation entre le designer et son propre travail (figures 204 et 205).

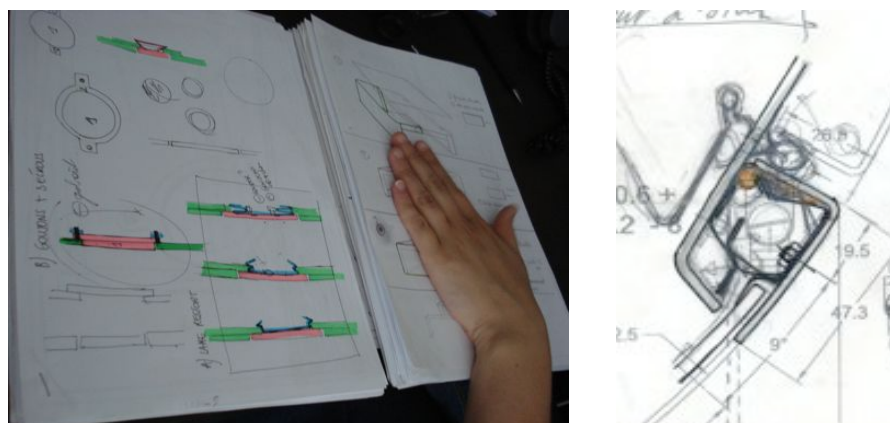


Fig. 204 et 205 - Dessins techniques rapidement exécutés ; usage de la couleur.

Dans le cas de la valise pour matériel médical, abordé dans la section précédente, le dessin technique permet au designer de rapidement trouver une solution esthétique et fonctionnelle au logement de sa charnière (figure 206). Il n'effectue pas cette recherche via la CAO car le modèle pré-existant est déjà trop lourd (les manipulations ne pourraient se faire que très lentement). Notons au passage qu'après modélisation de la solution de logement sélectionnée et grâce aux fonctionnalités dynamiques et cinématiques du logiciel, il réalise que cette solution n'est toujours pas parfaite puisqu'un conflit subsiste entre charnière et coque de la valise en position intermédiaire (les positions ouvertes et fermées, qui sont les seules qui auraient pu être testées via le dessin, ne posent elles aucun souci).



Fig. 206 - Résolution d'un noeud technique.

Les figures 207 et 208 présentent les rares exemples de dessins techniques détaillés (presque industriels) que nous avons pu encore trouver à l'heure de la dominance informatique. Ces pièces très précises n'existent sous aucune forme standardisée et doivent donc être conçues entièrement par le designer. S'il sait précisément quelles exigences ces pièces doivent remplir, il ne sait pas nécessairement comment elles vont elles-même «fonctionner» et il doit dans ce cas passer par le test rapide de variantes finement exécutées pour s'assurer de leur pertinence. La CAO peut être utile à ce stade dans le cas de l'externalisation d'une image mentale forte (et pour la réintroduction dans l'environnement pré-existant dynamique), mais souvent le dessin reste le moyen le plus rapide d'évaluer ces propositions très techniques (il sera de toute manière, à coup sûr, suivi par une phase de modélisation).

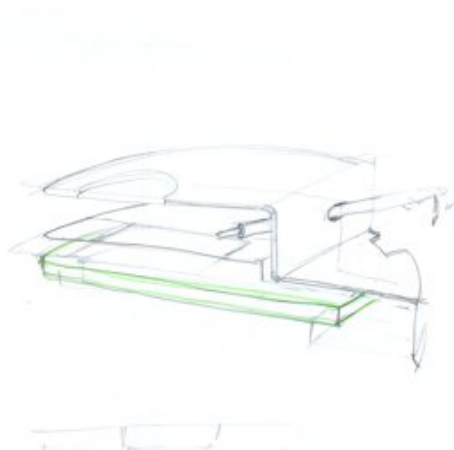
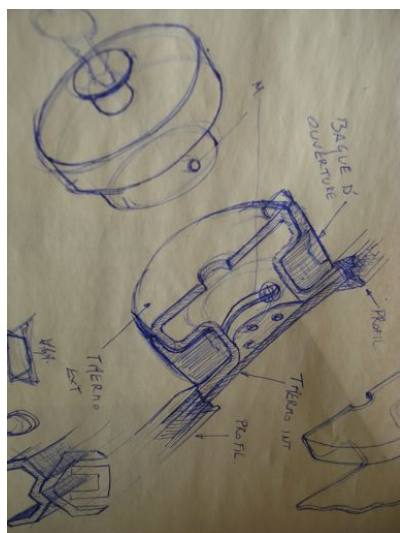


Fig. 207 et 208 - Dessins techniques détaillés, en toute fin de conception préliminaire.

La solution sélectionnée est ensuite éventuellement validée au cours d'un dernier point de synchronisation avec la hiérarchie directe (en faisant souvent usage d'un prototype) et est présentée, si cela est nécessaire, à la clientèle. Nous avons perçu dans ANOTO les conséquences qu'une telle présentation peut avoir : le client, rarement

habitué aux représentations techniques (dans ce cas numérisées) réagit totalement différemment à la vue de ces images et peut même remettre en question des aspects plus formels pourtant jusqu'alors acquis.

Cette dernière phase comporte encore quelques shifts (exclusivement à partir de dessins vers des modèles numériques) qui s'apparentent cette fois plus à un transfert pur d'information d'une représentation à une autre qu'à une évolution conceptuelle du projet (la modélisation permettant de tester des aspects consécutifs et complémentaires de ceux testés via le dessin).

La clôture de cette phase achève la conception préliminaire (en considérant celle-ci bel et bien comme la recherche conceptuelle de solutions formelles et techniques à des sous problèmes posés). Les derniers détails, tels que les cotations technologiques, les angles de dépouille, faux plats, plans de joints et jeux peuvent alors être définis (leur importance au sein du processus, nous l'avons vu, dépend largement du secteur industriel concerné).

La phase de mise en détail - largement raccourcie, on l'aura compris, par les pratiques nouvelles de la CAO et dont les frontières sont estompées par l'usage du dessin en design industriel - peut alors débiter.





## CHAPITRE 5 - Discussion

Avec le chapitre quatre se clôture l'étude des complémentarités des objets médiateurs et de leurs usages (individuels et collaboratifs) en design industriel.

Le chapitre cinq est lui marqué d'un ensemble de positionnements qui nourrissent la conceptualisation d'un système particulier d'assistance à la conception préliminaire en design industriel. Quelques résultats justifient ces positionnements et sont présentés à ce stade. Ils découlent d'une prise de position en faveur du dessin à main levée qui dépasse effectivement l'analyse des complémentarités, respectives propre au chapitre précédent.

### 1. Introduction

Le chapitre un, avec la mise au point de la problématique et de la proposition-cadre, a contribué à la génération de questions de recherches, approfondies et annotées suite à l'état de l'art du chapitre deux. Ces questions de recherche ont été résumées en thématiques de manière à structurer et opérationnaliser les recherches (chapitre trois).

Le chapitre quatre apporte des éléments de réponse à la plupart de ces questions de recherche. Nous résumons ici ces connexions, de manière à mettre en lumière les thématiques qui appellent certains positionnements et celles qui nécessiteront des études complémentaires.

Thématique 1 - <i>Les processus de conception préliminaire (individuels ou collaboratifs)</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* En quoi consiste aujourd'hui et depuis l'avènement des outils de Conception Assistée par Ordinateur, la notion de conception préliminaire ? Quelle est son évolution et comment les objets médiateurs y sont-ils intégrés ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Elargissement des frontières de la conception préliminaire à une essence plus technique mais traduisant toujours une recherche de solution à un problème donné (2.1 chap. 4)</li> <li>* Non-dichotomies dans l'usage des objets médiateurs (3.1.4 chap. 3)</li> <li>* Objets médiateurs peuvent être esquissés ; détaillés (2.3 chap. 4)</li> <li>* Deux processus de conception existent pour différents usages des objets médiateurs : soit la conversation réflexive soit l'externalisation (d'une image mentale forte ; d'une forme pré-inventive ; 3.2 chap. 4)</li> </ul>
Thématique 2 - <i>Les impacts du contexte «métier»</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Quels impacts respectifs le contexte du projet (contraintes, délais, type de projet, attentes du client, modalités du travail collaboratif, ...) et les usages des outils peuvent-ils avoir l'un sur l'autre ?</li> <li>* Quels impacts la profession naissante de «dessinateur» a-t-elle sur la pratique du design industriel, en particulier en ce qui concerne la répartition des tâches, les modalités du travail collaboratif, l'usage des outils et l'évolution des expertises ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Etude des impacts du dessinateur sur l'usage de la CAO chez le designer</li> <li>* Etude des transferts, interprétations et ré-appropriations de représentations (5.2 chap. 4)</li> <li>* Les nouvelles répartitions des tâches et modalités collaboratives induisent des nouveaux usages (notamment de la CAO (5.1 chap. 4))</li> <li>* Etude de la détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition (5.3 chap. 4)</li> <li>* Etude de l'impact du client (absent ; acquis ; vente de la représentation 4.1.4 chap. 3) sur la génération et la temporalité de présentation des représentations externes (4.2 chap. 4)</li> <li>* Capture du design rationale (4.4 chap. 4)</li> </ul>
Thématique 3 - <i>Les usages des objets médiateurs (dessin à main levée ; logiciels de Conception Assistée par Ordinateur ; représentations résultantes) en conception individuelle ou collaborative</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Comment les outils «numériques» et «traditionnels», mais aussi les représentations qui y sont liées, s'articulent-ils dans leurs usages tout au long du processus de conception préliminaire ?</li> <li>* Comment ces objets médiateurs (outils + représentations) sont-ils utilisés, mais aussi déviés de leurs usages principaux ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Etude des allers-retours, complémentarités et polyvalence des objets médiateurs dans leurs usages et leurs contenus (3.1.4 chap. 3)</li> <li>* Définition des principes de sélection des objets médiateurs</li> <li>* Analyse des principes d'usage et catachrèses</li> <li>* Importance du référentiel en collectif</li> </ul>
Thématique 4 - <i>Les spécificités de ces objets médiateurs (potentiels ; limitations) et leurs pertinences</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Comment, pourquoi, à quel moment les concepteurs font-ils appel à telle spécificité de tel objet médiateur plutôt qu'une autre ?</li> <li>* Comment les objets médiateurs contribuent-ils au processus de conception ?</li> <li>* Quels sont leurs impacts et spécificités respectifs ?</li> <li>* Quelles sont les caractéristiques des objets médiateurs «communicables» ?</li> <li>* Comment tirer parti de ces caractéristiques ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Etude des principes de sélection des objets médiateurs</li> <li>* Définition des spécificités respectives des objets médiateurs ; importance de la 3D (3.1.1 ; 3.1.2 ; 3.1.3 ; 4.1.1 ; 4.1.2 ; 4.1.3 chap. 4)</li> <li>* Listing des impacts positifs et négatifs</li> <li>* Examen de l'essence communicable, l'essence du «bon croquis», des ré-appropriations et «key-features» (5.2.1 chap. 4)</li> <li>* Etude des principes graphiques récurrents (équivalents dans les représentations individuelles ou communicables)</li> <li>* Importance des annotations (4.1.2 chap. 4)</li> </ul>
Thématique 5 - <i>Les mécanismes de transition entre représentations 2D et 3D d'un objet</i>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Quels sont les mécanismes actuels de définition et de passage entre représentations 2D et 3D d'un objet ?</li> <li>* Quelle importance donner à cette transition et comment traiter les traits qui la structurent ?</li> <li>* Quels sont les besoins réels des concepteurs à ce sujet ?</li> <li>* Comment gérer efficacement la césure entre modèle conceptuel et modèle «de développement» ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Etude des shifts entre types de représentations, entre représentations 2D-3D et entre pages (3.3 chap. 4)</li> <li>* Implications de ces shifts en termes de transformations latérales ; verticales et comme expression d'une modification</li> <li>* Etude de la pertinence des shifts et de la bi-univocité</li> </ul>

Thématique 6 - La structuration et le contenu des représentations externes générées (unité graphique ; formalisme) et leurs pertinences	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Quels sont les contenus significatifs des traces (ou représentations) externes générées ?</li> <li>* Et parmi ces contenus significatifs, quels niveaux d'abstraction, quels contenus devrions-nous sauvegarder, améliorer ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Capture des principes graphiques récurrents et cycles de traits</li> <li>* Etude des impacts des formalismes visuels (5.2 chap. 3)</li> <li>* Etude des essences et «key features»</li> <li>* Capture des mécanismes perceptifs (globalité avant détail)</li> </ul>

Fig. 209 - Etat des lieux des questions de recherche. Dans la colonne de gauche, les différentes questions de recherche ; dans celle de droite, les principaux résultats résumés.

Le chapitre quatre ayant approfondi l'étude des complexités du domaine cible, il nous faut maintenant nous positionner vis-à-vis des aspects incontournables, perfectibles et superflus des objets médiateurs afin de faire évoluer l'état de fait initial vers une situation augmentée innovante, qui assure l'apport d'une plus-value au processus de conception. Quand les questions *quoi*, *pourquoi* et *comment* auront été visées, nous aborderons ensuite la question du *quand*, qui cerne la temporalité de l'assistance

## 2. Dessin à main levée - Outils de modélisation Assistée par Ordinateur : Positionnement

### 2.1. Résumé des caractéristiques à conserver, à augmenter, à modifier

La figure 210 présentée ci dessous résume les invariants détectés dans l'usage des objets médiateurs (usages prescrits mais aussi déviés) ainsi que les caractéristiques à conserver, augmenter ou modifier (voire rejeter). Les variants, soit les caractéristiques trop sensibles au contexte et qui ne peuvent être généralisées, ne sont pas exploitées. De même, nous limitons nos conclusions aux deux outils pour lesquels nous avons les données les plus stables, à savoir le dessin à main levée et les outils de Conception Assistée par Ordinateur. Ce résumé des caractéristiques répond à la proposition de Self, Dalke et Evans (figure 22, section 3.5.3 du chapitre 2) et repositionne nos deux principaux outils par rapport aux qualités intrinsèques relevées par ces auteurs (Self, Dalke, & Evans, 2009).

Caractéristique	Situation actuelle ✓ outillé par ✗ non outillé par ~ partiellement outillé mais...			Caractéristique à = Conserver ➤ Augmenter M Modifier R Rejeter		
	Dessin à main levée			CAO		
<i>Support à la conversation réflexive</i>	✓	=	Caractère flou, ambigu du dessin supporte les découvertes (visuelles et sémantiques)	✓	=	Visualisation dynamique de modèles esquissés ; formes pré-inventives
				✓	R	Apparaît parfois via modèles détaillés, mais à proscrire
Gestion des contenus	~	➤	Grande polyvalence Mais statique et sur-densification ; taille limitée de la feuille (provoque des shifts de page inutiles)	~	M	Dynamique et illimitée Mais limitée par menus et fonctions et bruit visuel
Gestion des annotations	~	➤	Pérennité, degré d'urgence pas gérés	✗	➤	Aucune interface actuellement adoptée par les professionnels
Capture du design rationale	~	➤	Info volatile, peu traçable ; pertes	~	M	Arbres de référencement trop complexes
<i>Rapidité d'exécution</i>	✓	=	Succession rapide et naturelle de traits flous, «courbes folles»	~	M	De plus en plus efficace avec l'évolution des expertises Mais procédures de modélisation esquissées à simplifier
<i>Rapidité de test</i>	✓	➤	TB test comparatif des variantes Mais certains tests sont ralentis par le caractère statique du dessin	✓	=	TB Tests cinématiques ; test des proportions
<i>Test des conflits</i>	✓	➤	Supportés par coupes et fonds de plans Mais coût temporel de réalisation	✓	=	Soutenu par visualisation dynamique et alertes système
<i>Polyvalence</i>	✓	=	Perspectives et élévations principalement (questions formelles et globales) Mais difficulté de contrôle des proportions	✗	M	Autoriser la vue comparée de plusieurs types de représentations
<i>Gel des attributs</i>	✓	=	Via la cristallisation ; la statique du papier	✗	➤	Gel des attributs doit s'extraire des mécanismes de paramétrisation
<i>Ré-introduction dans environnement pré-existant</i>	~	➤	Coût temporel de réalisation Caractère statique	✓	=	Favorise synchronisation et rafraîchit la mémoire
Transportabilité	~	➤	Passation «virale» de l'information Mais perte d'infos	~	➤	Universalité des formats Mais caractère «personnalisé» de l'info apparaissant à l'écran

<i>Support à la communication, à la collaboration interne</i>	✓	=	Support à l'annotation partagée Passation rapide (si contenu est intuitivement compréhensible)	~	↗	Visualisation dynamique explicative, intro dans un environnement pré-existant Mais dimensions réduites de l'écran ; partage et contrôle de la souris difficile ; moins propice aux key-features
<i>Essence communicable</i>	✓	=	Key features, cristallisation, tagging... rapidement et intuitivement exécutés	✗	↗	Pas efficacement soutenu (gestion des calques et des fonctions trop long et coûteux) si ce n'est l'usage de la couleur
<i>Support à la désignation, au sur-croquis</i>	~	↗	Représentation individuelle devient communiquée, partagée (parfois involontairement)	~	↗	Désignation facilitée par surbrillance, traces «fantômes» Sur-croquis non intuitif, mais calque de précaution possible
Support à la conception distribuée	✓	=	A noter : synchronisation et mise en commun à réitérer systématiquement	~	↗	Outils de partage de droits tels que SAP modifient processus (via la définition d'interfaces topologiques)
<i>Support à la communication, à la collaboration externe</i>	~	M	Conserve les marges de manoeuvre Mais caractère personnalisé et statique de l'information	✓	=	Dynamique Gestion rapide des rendus visuels Eviter une «negative premature fixation»
<i>Détection des erreurs ; noeuds techniques et zones de non définition</i>	✓	↗	Outillé par le dessin Mais limité par l'aspect statique	✓	=	Visualisation dynamique, processus de modélisation et de passation en eux mêmes favorisent la détection
<i>Shifts d'un type de représentation à un autre (vecteur d'évolution du projet)</i>	✓	=	La génération des différentes représentations nourrit la conceptualisation (pratiquement jamais de re-représentation)	✓	M	La génération automatique des trois vues en géométrie descriptive doit s'accompagner de la possibilité de générer des variantes en parallèle
<i>Processus d'itération / modification</i>	✓	↗	Modification simple et intuitive, en «un coup de crayon» Mais pas de feed-back visuel direct	✓	↗	Feed-back visuel direct Mais micro-processus de shifts longs et inutiles

*Fig. 210 - Résumé des caractéristiques des objets médiateurs à conserver, augmenter, modifier, rejeter. En italique, les caractéristiques pour lesquelles les potentiels d'un des deux objets médiateurs compensent les limitations du second.*

Cette mise en perspective des spécificités de chaque objet médiateur (et plus particulièrement des cas où les potentiels de l'un équilibrent les limitations de l'autre) conforte notre hypothèse de non-dichotomie et démontre à quel point les concepteurs sont capables de tirer parti des complémentarités de ces objets afin d'atteindre leurs objectifs.

## 2.2. Dessin à main levée - CAO : Positionnements pour une assistance

La section précédente confirme la nécessité d'une part, d'associer les potentiels respectifs du dessin et de la CAO dans le respect des pratiques actuelles et, d'autre part, d'augmenter certains usages perfectibles dans l'optique de générer une plus-value pour le processus de conception.

Si l'observation des pratiques nous pousse à associer des potentiels neufs à l'usage de la CAO, notamment en terme de soutien à l'externalisation d'une image mentale forte, il nous faut cependant rester prudents quant à l'impact de cet usage précoce de la CAO sur la qualité globale du produit fini (considéré négatif par Cham et Yang (2005)). En ayant fait le choix de ne pas évaluer la qualité du produit fini, nous ne pouvons nous positionner sur cette question. Nous attirons cependant l'attention du lecteur sur le fait que nous ne tirerons avantage des potentiels de la CAO que lorsqu'un consensus se dégage, au travers de toutes les études, dans l'usage de l'outil ou lorsque les concepteurs font intentionnellement usage (pré-défini ou dévié) d'une fonctionnalité alors que d'autres alternatives s'offrent à eux. La question de l'impact en tant que tel fera l'objet d'autres recherches, mais nous pouvons déjà souligner que la CAO, au même titre qu'elle ne soutient pas la conception de la spatialité en architecture, ne soutient pas non plus la conception de la relation à la matière (et à son poids) ni la relation à l'échelle entière en design industriel (en addition de toutes les limitations déjà relevées dans la section 3.4.3 du chapitre 2).

Le dessin, quant à lui, se décline en une diversité de contenus, de degrés d'abstraction et de finesse de rendu visuel. Tous ces types de dessins se positionnent différemment sur une échelle des possibles en matière de capture, de reconstruction et d'interprétation des traits. En architecture, deux types de dessins sont distingués en conception préliminaire : l'esquisse de brouillon (ou conceptuelle) et l'esquisse synthétique (Leclercq & Elsen, 2007). En ce qui concerne le design industriel, nos observations nous permettent de détecter trois grands types de dessins, sommairement résumés ici :

- le dessin de brouillon, ou de recherche conceptuelle, qui se traduit par des cycles graphiques de traits particuliers ;
- le dessin de matérialisation d'une image mentale forte ou d'une forme pré-inventive, qui est caractérisé lui aussi par des cycles graphiques qui lui sont propres ;
- le dessin communicable qui vise à résumer un état intermédiaire du projet : ce type de dessin réduit l'ambiguïté, pose certains choix mais n'en est pas pour autant rigidifié. Il n'est qu'un support particulier à l'évolution de la conception et peut très rapidement redevenir brouillon, dès l'instant où il est communiqué à des tiers. Ces tiers font à leur tour évoluer le dessin qui tend peu à peu vers sa version synthétique.

Les concepteurs doivent à tout moment pouvoir exploiter ces différents types de dessins. Nous verrons cependant dans les sections suivantes que les caractéristiques

graphiques du dessin communicable sont certainement celles qui sont les plus susceptibles de nourrir efficacement notre système d'assistance.

Si l'on devait résumer, en quelques mots clés, les forces et faiblesses du dessin et de la CAO au stade de la conception préliminaire, nous dirions que :

- les forces du dessin sont : sa rapidité d'exécution, sa rapidité de test de variantes («*auto-pilotage à vue*») et sa polyvalence ;
- et ses faiblesses sont : son imprécision dans la génération de proportions correctes, son côté statique et son caractère incomplet qui peuvent ralentir la détection des erreurs ;
- les forces de la CAO sont : la réintégration dans un environnement dynamique, le test de conflits et le test des proportions qui outillent l'évaluation rapide (de représentations qui peuvent être des images mentales fortes ou des formes pré-inventives) ;
- et ses faiblesses sont : la lourdeur des procédures d'encodage (notamment pour les modèles esquissés) ; son interface qui n'est pas propice à la génération de key features ni à la comparaison de variantes.

C'est sur ces forces et ces faiblesses que nous conceptualisons le système d'assistance. Fondamentalement, le système proposé va augmenter le dessin à main levée des potentiels dynamiques de la CAO tout en simplifiant les processus de modélisation esquissée. Etant donné ces objectifs, il entre effectivement, comme annoncé dans la section 5 du chapitre 2, dans la famille des Sketch Based Interfaces for Modeling.

Les valeurs ajoutées espérées de ce SBIM s'inspirent donc directement de nos résultats et peuvent être résumées comme suit :

- simplification des procédures de modélisation 3D esquissée pour les rendre plus intuitives, plus rapides et plus respectueuses des modes perceptifs humains tout en conservant leurs qualités de base (cotes rondes, construction rapide sur primitives de base simples,...) ;
- détection précoce des erreurs, noeuds technologiques et zones de non définition pour diminuer les itérations superflues et limiter les pertes de temps ;
- simplification des transferts et appropriations de l'esquisse communiquée entre designers-designers mais aussi entre designers-dessinateurs pour favoriser les mécanismes collaboratifs et diminuer les pertes de temps.

### 3. Les trois étapes du SBIM : positionnements

Les Sketch Based Interfaces for Modeling favorisent une interaction au stylo électronique, qui respecte au plus près l'entrée crayon naturelle et intuitive du dessin à main levée (section 5 du chapitre 2).

En termes de retour visuel et de précision, les résultats connexes de l'expérimentation TRAGERE ont démontré qu'une tablette graphique de type Cintiq® et un logiciel de capture et de rendu tel que Tragere® (sous réserve de quelques modifications de base, cf. Annexe 10) répondent aux attentes des designers industriels et constituent de ce fait un dispositif d'entrée parfaitement adapté au système que nous désirons mettre sur pied.

C'est donc plutôt en termes de mécanismes fonctionnels que des questions subsistent. La section 5.2 du chapitre 2 nous a appris que ces mécanismes se construisent généralement sur trois étapes fondamentales, à savoir la capture et le positionnement des traits (qui s'accompagne d'une étape de «beautification») ; la reconstruction géométrique et enfin la reconnaissance et l'interprétation (éventuellement sémantique) des traits.

Si ces trois étapes font effectivement école et si la philosophie des SBIM semble globalement répondre à nos besoins, il nous faut cependant encore discuter les questions ouvertes en section 5.4 du chapitre deux, qui portent sur :

- la pertinence de l'approche sémantique/symbolique pour l'éventuelle interprétation du contenu de l'esquisse ;
- la pertinence et la temporalité de l'intervention numérique ;
- la pertinence d'une automatisation des passages 2D > 3D et papier > CAO en design industriel ;
- et, pour terminer, les difficultés qui subsistent pour la reconstruction géométrique et qui sont propres aux pratiques observées.

#### 3.1. Pertinence de l'approche symbolique/sémantique et de l'interprétation du contenu de l'esquisse

Les SBIM les plus avancés tirent parti du contenu hautement symbolique et sémantique du dessin pour proposer une reconstruction et une interprétation des traits. Celles-ci outillent la génération automatique de modèles 3D et nourrissent divers évaluateurs qui fournissent au concepteur un retour visuel et précoce sur les performances de son produit. Ayant décidé à ce stade que le dessin à main levée sera bel et bien favorisé au sein de notre système, évaluons la faisabilité de ce type d'interprétation avant de discuter de la pertinence de ces retours pour le concepteur en design industriel.



En terme de contenu symbolique, les figures 211 et 212 démontrent immédiatement à quel point les symboles sont absents des représentations en design industriel. Seules quelques primitives de base constituent les géométries de référence sur lesquelles des codes graphiques récurrents (les traits flous, répétés et cristallisés, le plus souvent en cycle) se stabilisent pour générer des formes principalement quelconques.

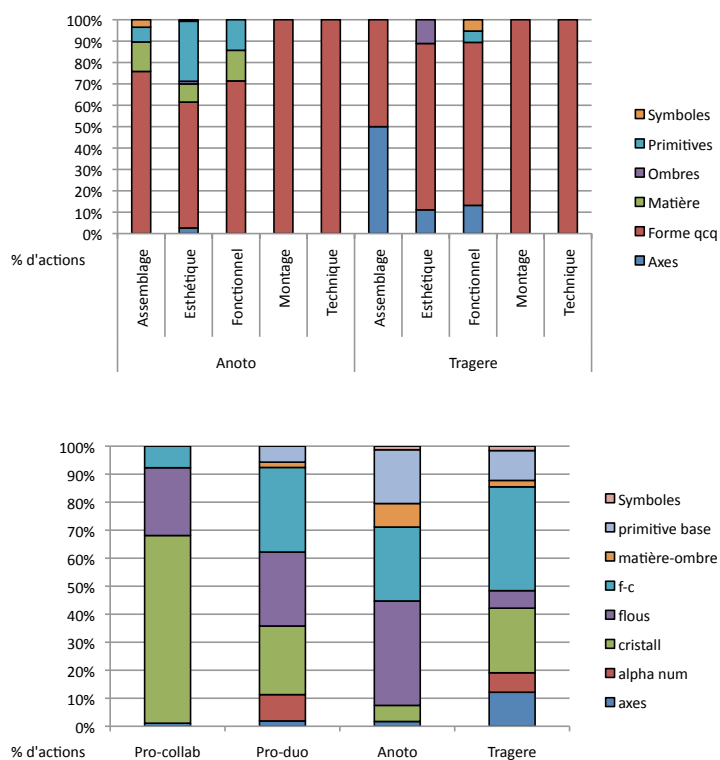


Fig. 211 (haut) et 212 (bas) - Absence de symboles, prégnance des formes quelconques et des cycles de traits en conception industrielle. [Forme qqc] = forme quelconque ; [f-c] = traits flous puis cristallisés ; [cristall] = cristallisés ; [alpha num] = alpha-numérique.

Aucune interprétation sémantique potentielle du contenu ne pourra donc être exploitée (comme supposé dans la section 2 du chapitre 2) puisque la base symbolique indispensable à cette interprétation, similaire à celles utilisées en architecture, en ingénierie électronique et parfois mécanique, fait défaut.

Cette inexistence de symboles n'empêche pas certains traits de présenter une force sémantique très importante, paradoxalement même plus forte que celle que l'on peut trouver dans les dessins d'architectes. Les figures 213 et 214 en sont un bel exemple : deux traits très fins sur le dessin de droite ancrent les profils au sein de l'épaisseur du plateau et expriment à quel point la matière est creusée (au contraire de la figure de gauche où un observateur non averti aurait pu percevoir les profils comme déposés sur ou dans le fond du plateau). Cette force sémantique de traits simples est liée à l'échelle

du dessin, très différente de celle qui apparaît en architecture : la modification d'un trait ou d'une courbe en architecture peut ne pas impacter le concept global (le profil) du projet. C'est moins souvent le cas en design industriel où chaque trait peut s'avérer crucial étant donné l'échelle réduite du produit en cours de conception. Ces traits, même s'ils sont porteurs d'une sémantique, ne présentent cependant pas de caractéristiques (graphiques ou autre) suffisamment distinctes que pour nourrir une interprétation automatique.

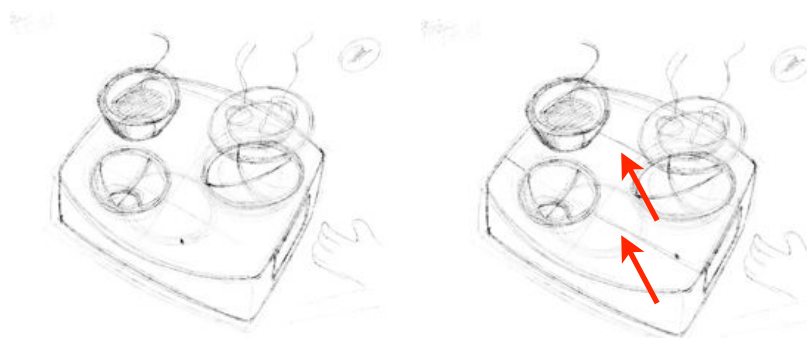


Fig. 213 (gauche) et 214 (droite) - Force sémantique d'un simple trait flou en design industriel.

Ces observations confortent les résultats obtenus par ailleurs (sections 3.1.2 et 5.2.2 du chapitre précédent) :

• c'est bien sur des codes graphiques récurrents (courbes principales et cycles de cristallisation) qu'il nous faudra exclusivement construire une assistance à la reconstruction, en lieu et place d'une interprétation pour laquelle les indices font défaut.

Les courbes principales (i.e. les courbes qui subsistent dans le temps, participent activement à la sémantique du projet et constituent les key features récupérées, cf. section 5.2.2 chap. 4) sont la base majoritaire des structures que nous exploiterons. Elles sont constituées de primitives de base, d'axes, de formes quelconques, cf. figure 215). Elles participent également à la construction des formes globales (figure 216) qui l'emportent sur les détails lorsqu'il s'agit de perception et récupération de l'essence du dessin.

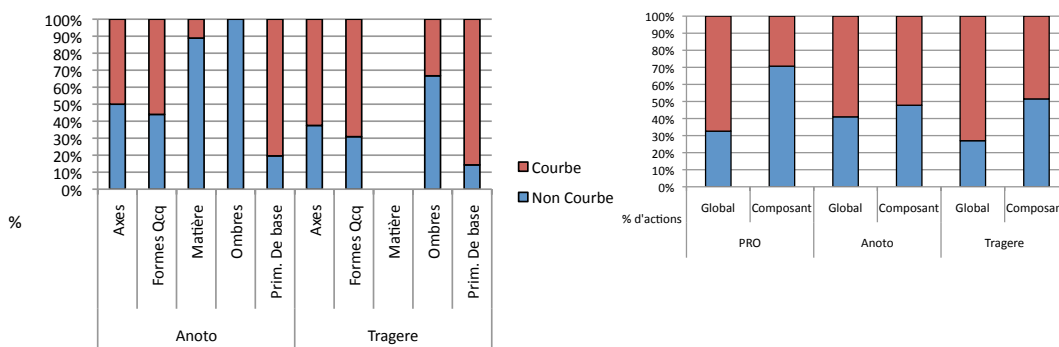


Fig. 215 (droite) et 216 (gauche) - Prégnance des courbes principales dans les structures du dessin et dans l'aspect global de la représentation. [Prim. de base] = primitive de base.

L'étude du transfert et de l'appropriation des traits a suggéré que les courbes principales sont principalement cristallisées (section 5.2.2, chapitre 4). La figure 217 va plus loin dans le détail : si les traits cristallisés appartiennent majoritairement à des courbes principales, les cycles rapides de traits *flous-cristallisés* ou *flous-répétés-cristallisés* structurent également largement ces courbes. Les traits flous et légers figurent généralement des courbes secondaires, mais plus on tend vers un contenu graphique dense plus la courbe, logiquement, tend à devenir principale.

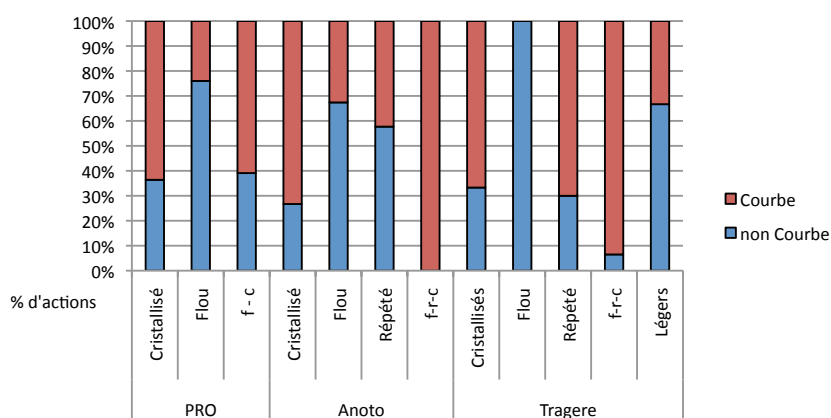


Fig. 217 - Structure graphique des courbes principales. [f] = traits flous ; [r] = traits répétés ; [c] = traits cristallisés ; [x-x] = cycles de traits.

### 3.2. Pertinence et temporalité de l'intervention numérique

L'examen de ces cycles particuliers de traits nous permet également de considérer la question de la temporalité d'intervention numérique. Pouvons nous évaluer, à partir de ces cycles, à quel moment la beautification des traits, la reconstruction et/ou les évaluateurs devraient intervenir ?

Les codages n'ont pas été réalisés sur une base temporelle. Plusieurs «vitesses» de cycles de traits ont cependant été détectées. La figure 218 présente les cycles dits lents de traits *flous-cristallisés* ou *flous-répétés-cristallisés* qui apparaissent au long d'une succession d'actions. Si certains de ces cycles composent un dessin en soi, d'autres construisent peu à peu différentes parties du dessin. Un dessin peut ainsi voir son état de cristallisation évoluer avec le temps, en fonction des zones pour lesquelles des décisions sont prises successivement.

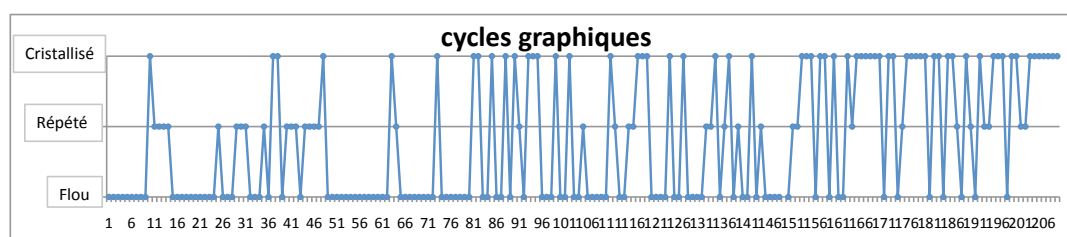


Fig. 218 - Cycles de traits en successions «lentes», action par action, chez Tragere.

Parallèlement à ces cycles lents, 7,6 % des actions codées chez ANOTO et 24,6 % des actions codées chez TRAGERE correspondent des cycles rapides (une seule action codée concentrant tous les types de traits, qui se succèdent rapidement).

Ces vitesses d'apparition nous permettent également d'approfondir l'étude de ces cycles en regard du type de conception en cours (conception par conversation réflexive ou par externalisation d'une image mentale forte, cf. section 3.2 du chapitre 4). Une observation plus qualitative des séquences dont on peut rejouer les traits (issues de ANOTO et de TRAGERE donc) nous apprend en effet que les cycles de traits peuvent être différents en fonction du type de processus.

Dans le cas d'une conception par conversation réflexive, les traits flous successifs supportent une recherche conceptuelle : le designer couche sur le dessin plusieurs possibilités et parmi les traits répétés il va choisir un trait à cristalliser. Si ce que lui renvoie la représentation (i.e., les traits répétés ou le trait qu'il vient de cristalliser) ne lui convient pas, il peut alors superposer à nouveau plusieurs traits et cristalliser d'un trait plus fort la variante qui correspond mieux à ses attentes. Les traits dans cette situation évoluent généralement lentement, de façon hésitante, au gré de l'itération mentale et de la conversation avec la représentation (figure 219).

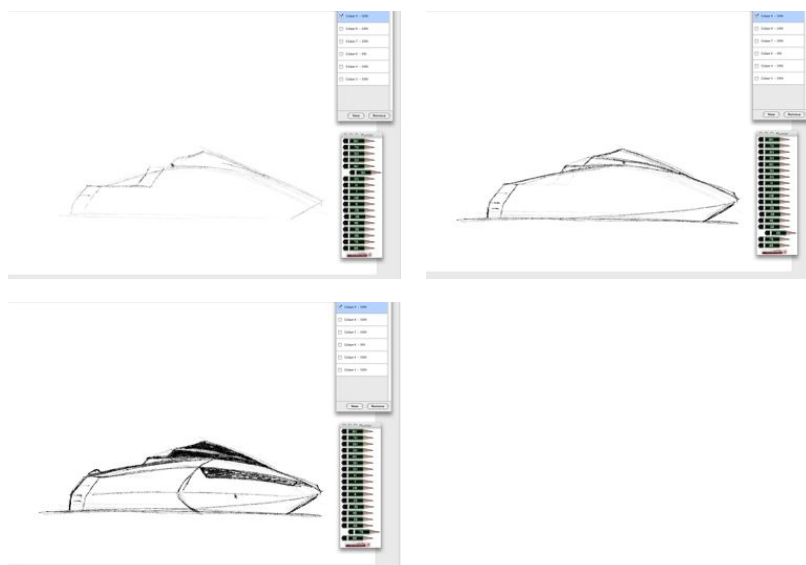


Fig. 219 - Cycles de traits soutenant une recherche conceptuelle par conversation réflexive.

Cette succession de traits peut également être structurée par une succession de formes *a-p-f* (pour *axe structural - primitive de base - forme quelconque*) qui correspondent aux techniques académiques (et le plus souvent, expertes) de dessin. Dans ce cas, l'axe structural, dessiné soit d'un trait flou soit d'un trait léger, soutient la construction d'une primitive de base (une forme géométrique, une boîte englobante). Cette structure sert d'appui à quelques traits répétés qui suggèrent ensuite une forme quelconque et les traits cristallisés finalisent enfin le profil (figure 220). Une succession *p-f-o* (pour *primitive de base - forme quelconque - ombrages*) peut constituer une alternative.

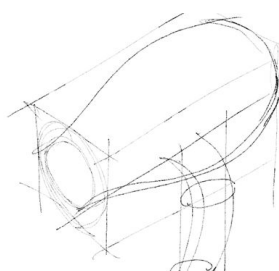
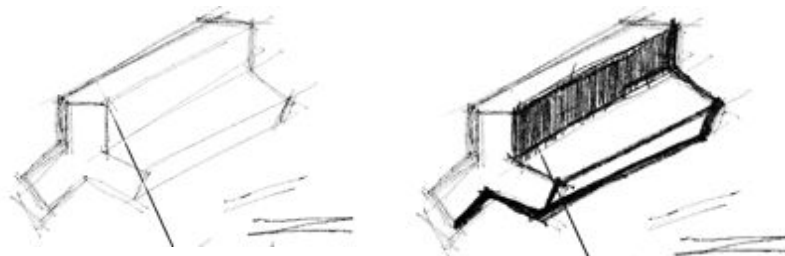


Fig. 220 - Cycles de traits et cycles de formes pour une représentation experte de la perspective axonométrique.

Dans le cas de l'externalisation d'une image mentale forte, nous observons que les cycles *f-r-c* apparaissent en enchaînements plus rapides. Le concepteur propose plus instinctivement une idée (l'image mentale) qu'il couche rapidement sur le papier. Les traits flous et répétés traduisent une recherche de précision géométrique, le concepteur désirant d'abord s'assurer que la représentation dessinée soit suffisamment fidèle à son idée avant d'en cristalliser les traits. La succession des cycles est néanmoins toujours respectée (des traits flous, répétés puis cristallisés et à nouveau flous etc.), ce qui n'est plus le cas dans un processus de re-représentation.

Dans ce cas effectivement la recherche de précision géométrique ne traduit plus l'externalisation d'une idée en gestation, mais plutôt la re-représentation d'un objet connu. L'objet est construit sur une succession de traits flous et répétés, les traits cristallisés n'arrivant qu'en fin de processus, une fois la géométrie fidèle détectée. Ces traits cristallisés ne traduisent plus la sélection d'un trait parmi d'autres mais mettent simplement l'objet en emphase (figure 221).



*Fig. 221 - Cycles de traits flous-répétés puis, dans un second temps, cristallisés pour la re-représentation d'un objet connu.*

Dans les trois cas :

- le trait flou traduit l'approche sécuritaire du dessin à main levée (pour la recherche conceptuelle, la recherche de justesse ou de mise en place de guides au dessin) ;
- le trait répété réitère cette recherche ;
- le trait cristallisé révèle un choix, une emphase sur une situation (temporairement) définitive.

S'il est vrai que des résultats complémentaires sont requis avant de ratifier les corrélations entre succession des traits (leur vitesse d'exécution, leur enchaînement plus ou moins rapide) et degré d'assurance (en la solution proposée, en la projection d'un projet connu, en ses capacités à dessiner), nous nous permettons cependant de tirer à ce stade des conclusions quant à la temporalité de l'assistance.

Ces conclusions concernent respectivement l'étape de beautification des traits ; la temporalité d'une assistance et l'intervention d'évaluateurs.

### 3.2.1. L'étape de beautification des traits

L'état de l'art sur les SBIM a révélé qu'une étape incontournable de la capture des traits, en vue de leur repositionnement dans l'espace et de la reconstruction des géométries, est l'étape de nettoyage ou de beautification des traits. Cette étape s'avère utile pour la poursuite des opérations du SBIM et pour la génération d'un modèle esquissé, particulièrement également en design industriel où une proportion non négligeable de traits restent ouverts (figure 222).

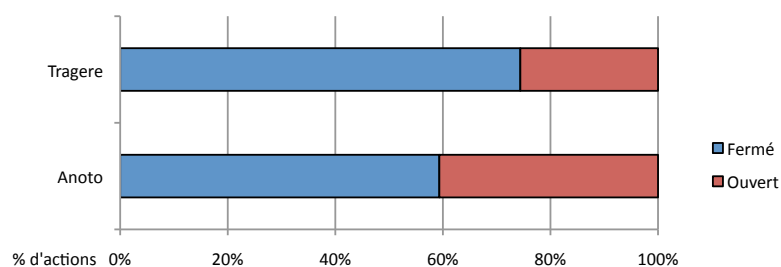


Fig. 222 - Une large proportions de traits restent ouverts et nécessitent donc une étape de nettoyage et «rejointoyage».

On pourrait cependant regretter, au vu des résultats qui viennent d'être énoncés, que cette étape de beautification survienne si tôt au cours du processus d'interprétation. En effet, pour la plupart des prototypes actuels (dont l'interprétation est synchrone et chronologique), le nettoyage des traits doit survenir le plus vite possible, si possible en temps réel alors que le concepteur a à peine soulevé son stylo pour entamer le trait suivant.

Notre recommandation est bien entendu d'attendre plutôt que les cycles de traits *flous-répétés-cristallisés* soient achevés, de les laisser se développer jusqu'à leur état final. Etant donné le temps nécessaire au murissement conceptuel et étant donné les traits cristallisés typiques qui apparaissent une fois cette étape atteinte (aisément reconnaissables via les données de pression et d'inclinaison du stylo), une intervention numérique prématurée est d'une part inutile mais risque d'autre part de perturber l'utilisateur et le dévier de sa tâche de conception.

Si l'on considère que les concepteurs peuvent également passer librement d'un type de conception à un autre (par exemple d'une externalisation d'une image mentale à une conversation réflexive avec la représentation), il est indiqué d'intégrer l'utilisateur dans le processus en lui laissant le choix de déclencher lui même la séquence de beautification.

Par ailleurs, cette définition (en temps réel et interactive) du délai d'attente peut également se nourrir des cycles de formes (*axes - primitives - formes quelconques* ou *primitives - formes quelconques - ombrages*), lorsqu'ils apparaissent.

Notons enfin que quelques recherches ont tenté de conserver l'aspect original des traits tout en leur conférant les propriétés indispensables à une analyse cohérente. La méthode mise au point par Arvo et Novins pour des rendus de type «craie sur tableau noir» pourrait être étendue au plumier virtuel de crayons de Tragere® par exemple (Arvo & Novins, 2005).

### 3.2.2. La temporalité d'assistance

Ellen Do, dans un résumé de sa thèse intitulée «*The Right Tool at the Right Time*», suggère une intervention de la machine qui respecte la chronologie des besoins (Do, 1996). Dans le domaine spécifique de l'architecture, elle bénéficie du contenu hautement symbolique du dessin pour définir autant d'indices qui déclenchent des besoins spécifiques en évaluateurs. Nous apprécions particulièrement sa prise en compte de la temporalité dans le besoin de l'assistance : au lieu de perturber l'utilisateur dans son processus en lui proposant sans cesse une palette d'outils disponibles (qui l'interrompent, les distraient et surchargent visuellement son espace de travail), elle tente de les positionner avec pertinence au vu des besoins réels.

Dans le domaine du design industriel, nous ne pouvons pas tirer parti de ces mêmes indices. Nous exploitons par contre nos connaissances en ce qui concerne le déroulé du processus de conception et l'articulation des usages des objets médiateurs pour suggérer également une temporalité d'assistance. Dans le même souci de ne pas déranger l'utilisateur, nous lui laissons la possibilité d'activer ou non cette assistance. Ces fonctionnalités sont à sa portée, classées en fonction des probabilités d'usage puis, dans un second temps, selon son profil d'utilisateur, mais elles n'interrompent jamais inopinément le processus de conception préliminaire.

Rappelons brièvement les trois aspects principaux que notre système pourra augmenter et qui apporteront une valeur-ajoutée à l'ensemble du processus : la simplification des procédures de modélisation esquissée ; la détection précoce des erreurs et la simplification des transferts et appropriations de l'esquisse communiquée.

La modélisation esquissée (dont nous discuterons si la reconstruction doit être assistée ou automatiquement générée) peut apparaître dès que les derniers traits cristallisés confirment la sélection individuelle ou collaborative d'une variante. Pour sa construction, une approche par zonage (i.e. qui capture et repositionne les traits zone par zone, voir l'interface NEMo de JN Demaret au LUCID ou encore (Saund, 2003; Wuersch & Egenhofer, 2008)) nous semble plus en adéquation avec les pratiques qu'une approche chronologique (étant donné la dominance du global sur le détail), surtout lorsque des cycles de formes sont exploitables.

Dans le même registre, étant donné le caractère hautement opportuniste et itératif du processus de conception, un processus de capture et de reconstruction incrémental (qui interprète en temps réel et qui ne prend en compte que les dernières modifications capturées), bien que présentant des algorithmes plus efficaces, semble également moins recommandable qu'une approche différentielle (i.e. qui scanne l'entièreté du modèle et le fait évoluer en fonction des modifications apportées) tout du moins durant la phase précoce d'input «dessin». L'approche incrémentale pourrait par contre mieux correspondre à une phase de modification ultérieure sur modèle esquissé.

La détection précoce des erreurs doit être déclenchée, d'après nos résultats, lorsque le modèle esquissé est généré et que sa manipulation dynamique est rendue possible. Le designer pourra au préalable spécifier (via un tag ou des annotations) les noeuds technologiques et les zones de non définition pour faciliter la collaboration avec ses collègues. Une détection des conflits de pièces pourra également être



instructive plus tôt, dès la phase d'input dessin (via l'usage de coupes et de dessins sur fonds de plan par exemple, dont on a vu qu'ils supportent plus fréquemment les cotations, la définition des questions techniques etc.).

La simplification des modalités collaboratives tient principalement en la désignation efficace des points de synchronisation, directement graphiquement sur l'essence communiquée. A nouveau, annotations structurées et tags pourront être ajoutés à tout moment dans le processus de manière à soutenir cet usage collaboratif de la trace graphique.

### 3.2.3. L'intervention d'évaluateurs

Les évaluateurs sont traditionnellement convoqués tard dans le processus, puisqu'ils construisent leurs résultats exclusivement sur des modèles détaillés, précis et cohérents, qui ne sont aujourd'hui disponibles qu'en toute fin de conception. Si le système d'assistante articule dessin et modèle 3D esquissé plus tôt dans le projet, l'on pourrait s'interroger sur la pertinence de faire tourner plus rapidement des évaluateurs (même basiques, se contentant du caractère «grossier» de ce modèle précoce).

De notre point de vue, un des meilleurs moyens d'optimiser la conception préliminaire est de faciliter les principes naturels de détection des erreurs qui existent déjà. En d'autres termes, le fait de soutenir prioritairement la coopération homme-homme grâce à la machine (en facilitant l'accès aux données, la compréhension et l'appropriation de ces données) et de faciliter les processus de modélisation esquissée (qui participent déjà aujourd'hui à la détection de ces erreurs) constitue une plus value pour le processus.

Certaines des erreurs détectées précocement pourraient cependant bénéficier des potentialités offertes par la CAO. Parmi elles, la détection des conflits de pièce, les tests de cohérence (proportions et réintégration dans un environnement pré-existant) et la génération des trois vues de la géométrie descriptive, s'ils survenaient plus tôt dans le processus, pourraient effectivement optimiser la récupération des erreurs.

Ces fonctionnalités existant déjà, il suffit de faciliter le lien entre modèles 3D esquissés (générés par notre système) et interface (simplifiée) du logiciel CAO pour rapidement obtenir les évaluations attendues. En alimentant les outils existants via une collection de points durs, un nuage de point ou même une trace «fantôme» du modèle esquissé tout juste cohérent, le système respecte les pratiques actuelles tout en augmentant le processus des potentialités informatiques.

Un dernier aspect qui pourrait par contre bénéficier d'un développement plus spécifique est la capture et la gestion du «design rationale». Nos observations ont démontré combien la traçabilité des décisions, la sauvegarde des dessins hautement volatils ou encore la gestion des arbres de référencement pouvaient être complexes. En facilitant l'accès et l'administration d'une structure arborée, l'utilisateur pourra avoir accès à toutes les variantes générées, les annoter, les structurer de manière à en faciliter

la comparaison (de manière à leur faire subir en parallèle certaines évaluations ci nécessaire).

### 3.3. Pertinence d'une automatisation des passages 2D-3D

Les sections précédentes ont déjà abordé, d'une certaine manière, la question de l'automatisation des passages 2D - 3D (ou *shifts*). Nos dernières discussions recommandent une approche par la reconstruction plutôt que par l'interprétation sémantique du contenu. La question de l'automatisation reste cependant ouverte : l'ordinateur doit-il reconstruire, comme EsQUIsE par exemple le fait pour l'architecture, le modèle 3D automatiquement à partir d'une perspective dessinée ou d'une association des trois vues, ou bien la reconstruction doit-elle plutôt être interactive ?

Tous les résultats réunis plaident plutôt en faveur d'une reconstruction interactive du modèle. La section 3.3 du chapitre précédent a démontré combien les shifts nourrissent conceptuellement l'évolution du projet et combien rares étaient les transitions de re-représentation. Dans la même section, l'étude des mécanismes des modifications suggère de proposer une bi-univocité<sup>1</sup> dans l'articulation des états «dessin» et «3D esquissés» afin de préserver les aspects évolutifs de ces shifts. Notons au passage que cette bi-univocité devra être une option laissée ouverte surtout, par exemple, lorsque le concepteur désire comparer plusieurs modèles esquissés d'un même concept. L'utilisateur pourra ainsi, quand il le désire, conserver la fonctionnalité de gel des attributs du dessin en n'autorisant pas le transfert des modifications (une capture des différents états successifs sera cependant effectuée pour conserver le design rationale) ou au contraire activer le lien 2D - 3D pour bénéficier d'un retour visuel immédiat de la modification appliquée.

Les résultats qualitatifs et quantitatifs issus d'observations des pratiques réelles nous poussent donc à assister le concepteur dans la construction de son modèle esquissé plutôt que de le lui fournir automatiquement. Nous respectons de ce fait le processus de génération et gestation de l'idée tout en transformant l'actuelle césure conceptuelle et cognitive (entre dessin et modèle 3D) en une évolution naturelle d'un état de visualisation à un autre. Nous augmentons de ce fait les potentialités du dessin d'une rapide transition vers la modélisation 3D (Tovey & Richards, 2004), en permettant à l'utilisateur de mieux comprendre sa tâche et les complexités du projet sans en automatiser à tout va les mécanismes (Bailey, 2000).

Nous insistons sur le fait que la génération de ce modèle esquissé ne peut plus être laissée à la discrétion des outils de CAO. Ceux-ci, avec leurs procédures d'encodage complexes et déroutantes, ne respectent pas le caractère intuitif que devrait conserver

---

<sup>1</sup> La bi-univocité entre l'état dessin et l'état 3D signifie que toute modification apportée à l'un des deux états se répercute automatiquement sur le second. Les informations contenues dans chaque état doivent donc être par essence liées.

le modèle esquissé et poussent même le concepteur à tenter l'économie de la génération de ce modèle sous la pression temporelle (cf. le «moment 13» de modélisation individuelle chez PRO\_COLLAB), l'amenant à une phase de mise en détail prématurée et préjudiciable.

### 3. Difficultés d'une capture et d'une reconstruction du modèle

En justifiant la pertinence d'une assistance à la reconstruction du modèle esquissé, nous n'échappons pas à plusieurs difficultés, persistantes dans la mise au point des Sketch Based Interfaces for Modeling. Si l'on imagine que le système peut accepter à la fois des informations synchrones (i.e., qui sont générées en temps réel par l'utilisateur) et asynchrones (i.e., l'utilisateur soumet au système le scan d'une esquisse générée antérieurement), il n'empêche qu'un certain degré de complétude est requis pour assurer au modèle esquissé d'être suffisamment cohérent (et de pouvoir être mis en lien avec des évaluateurs).

La figure 223 nous rassure sur ce point : les représentations sont majoritairement complètes (par exemple lorsqu'une forme est dessinée elle l'est généralement complètement<sup>2</sup>), même si les représentations esquissées, celles que le système aura le plus souvent à gérer, sont plus enclines à l'incomplétude (figure 224). Les coupes et perspectives ont tendance à être moins bien définies et une assistance plus spécifique pourra être requise pour ces deux représentations particulières. Un autre croisement des données (non figuré ici) nous apprend effectivement que dans 100 % d'actions codées comme incomplètes, 58 % sont des perspectives dans les études PRO ; 52 % chez ANOTO et 87,5 % chez TRAGERE.

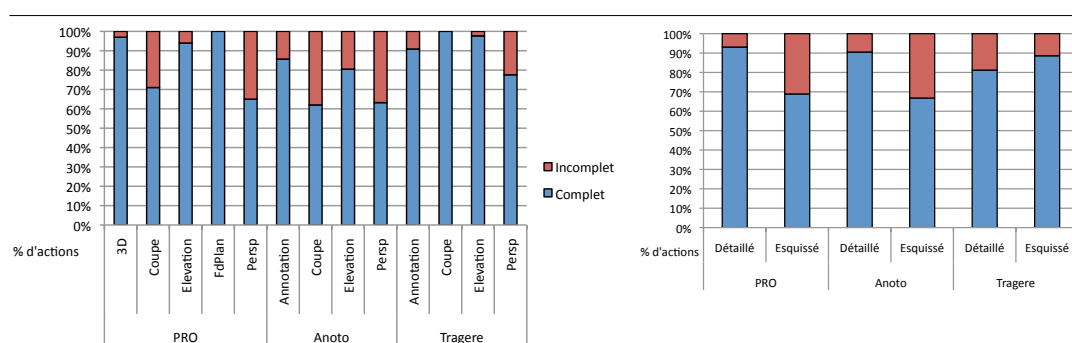


Fig. 223 (gauche) et 224 (droite) - Incomplétude des représentations et lien entre niveau d'abstraction et degré de complétude. [FdPlan] = fond de plan ; [Persp] = perspective.

<sup>2</sup> Ceci n'implique pas que les formes soient fermées graphiquement : certains traits peuvent manquer (ainsi que les connexions entre ces traits) mais la lecture de la forme globale n'en est pas empêchée.

La figure 225 nous apprend de plus que les formes globales, celles que notre système aura le plus souvent à exploiter, sont également les plus complètes.

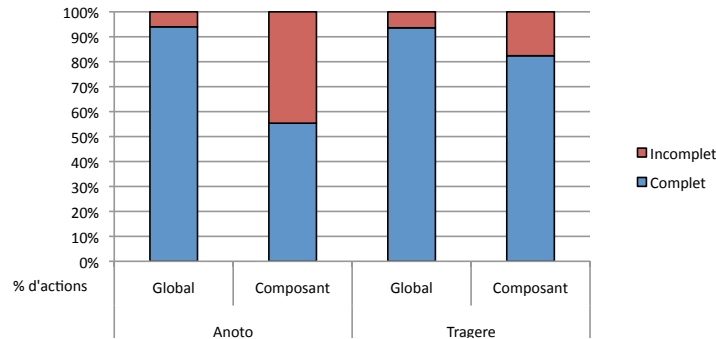


Fig. 225 - Complétude des dessins globaux.

La figure 226 place cette nécessité de complétude en regard du caractère principal des courbes sur lequel le système basera sa capture. Elle figure le nombre de points de connexion entre des courbes qui sont à la fois principales et qui appartiennent à des représentations considérées comme suffisamment complètes. Ces points de connexion sont les plus susceptibles de générer une capture et une reconstruction cohérentes. Le nombre de points secondaires et incomplets qui subsistent en dehors de cette ligne de connexion traduisent l'énorme complexité à laquelle les systèmes d'assistance à la conception préliminaire sont aujourd'hui encore confrontés.

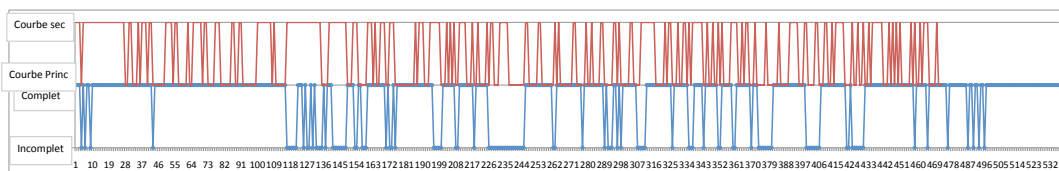


Fig. 226 - Ligne de connexion entre courbes principales et caractère complet de la représentation (données récoltées sur toutes les études). [Courbe sec.] = courbe secondaire ; [Courbe Princ.] = courbe principale.





## Chapitre 6 - Spécifications

Le chapitre 6 construit, à partir des positionnements discutés en chapitre 5, les détails du système d'assistance à la conception préliminaire en design industriel. Il ouvre ensuite de plus larges perspectives pour l'ingénierie de conception.

La mise au point d'un système d'assistance à la conception préliminaire en design industriel s'est limitée, jusqu'ici, à un ensemble de recommandations générales qui ne rentraient pas dans le détail de l'interaction. Cette section poursuit cette mise en détail et définit plus précisément quel processus d'entrée et quel type de manipulations pourront efficacement répondre aux besoins. Nous avertissons le lecteur qu'à partir d'ici nos compétences limitées en informatique ne nous permettent que des suggestions qui pourraient trouver meilleure alternative et que nous ne rentrerons pas dans la définition algorithmique du fonctionnement, qui dépasse les objectifs de cette thèse. Notre objectif n'est pas non plus de proposer un catalogue complet d'interactions et de solutions possibles, mais plutôt de suggérer diverses possibilités qui nous semblent adaptées<sup>1</sup>. Dans l'état actuel de nos connaissances et dans le respect des objectifs poursuivis tout au long de cette thèse, nous nous limitons donc, comme le conseillent Baxter et Berente (2010), à jeter les bases d'un système qui soit motivé au sein de l'activité considérée, qui s'ancre et s'articule avec les artefacts initialement présents, qui soit expérimenté (ou dédié à un domaine spécifique) et qui acquière potentiellement la confiance des utilisateurs.

En complément du résumé des complémentarités des objets médiateurs (figure 210 de la section 2.1 du chapitre 5), la figure 227 rappelle que plusieurs nécessités d'assistance ont été définies tout au long du chapitre quatre, ces nécessités ayant été repositionnées au sein de trois sous phases distinctes (figures 106, 165 et 203 de chaque étape, chapitre 4). Nous rappelons brièvement ici ces nécessités :

- phase 1 (conceptualisation et esquisse du projet) : soutenir la génération du dessin rapide (perspectives, élévations) et du modèle esquissé ainsi que les shifts «2D vers 3D» et shifts de page (de recherche conceptuelle, de test de variantes) ;
- phase 2 (travail collaboratif sur l'essence communicable) : soutenir la génération d'une essence communicable efficace qui facilite la prise de décision ; capture du design rationale ;
- phase 4 (modifications et itération de l'essence technique) : soutenir la détection des erreurs, noeuds techniques et zones de non-définition ; les points de

---

<sup>1</sup> De même, nous resterons ici à un niveau d'abstraction relativement haut pour la mise au point de ces spécifications. Certains aspects seront détaillés dans l'annexe 10.

synchronisation ; les shifts «2D vers 3D» et shifts de page (de recherche technique, de test des solutions, de cristallisation des choix).

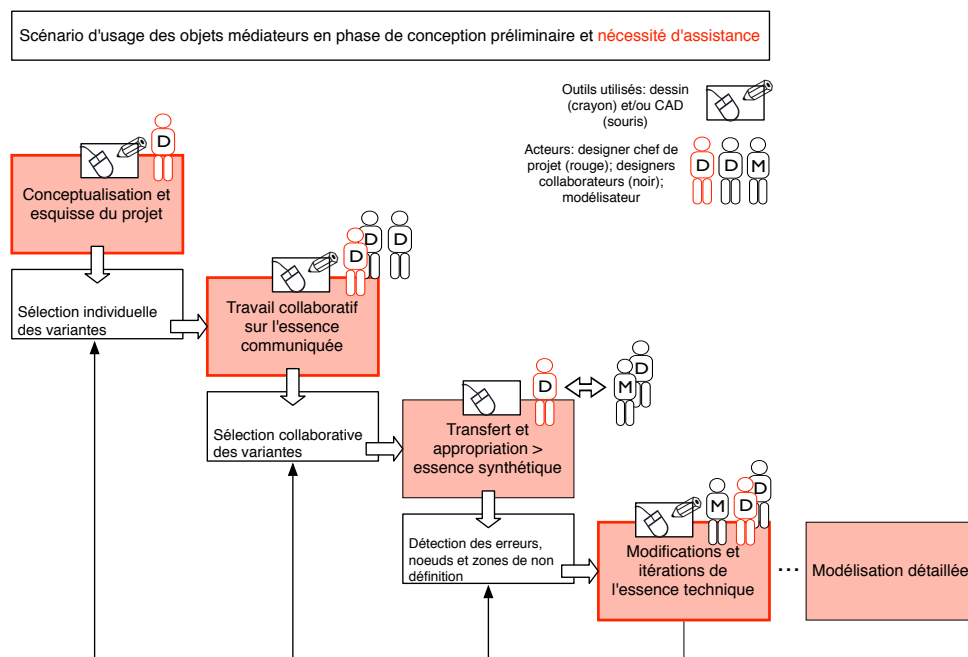


Fig. 227 - Rappel du scénario global d'usage des objets médiateurs, avec ses nécessités d'assistance (encadrés rouges).

La figure 228 illustre une réponse possible, schéma simplificateur du fonctionnement du système qui résume les décisions prises pour tenter de répondre à une majorité de ces nécessités d'assistance.

Ce schéma présente 6 couches de lecture. La première, intitulée *Process*, suggère une séquence de travail (itérative) qui permettra à l'utilisateur d'aller du dessin à main levée à la reconstruction interactive du modèle esquissé du produit. La seconde suggère des manipulations possibles pour une interaction naturelle et intuitive. La troisième met en lumière les verrous technologiques à dépasser, principalement dans la gestion du modèle esquissé et qui sont du ressort de la recherche en computer graphics. La quatrième souligne les questions ouvertes en termes d'interaction homme-machine (IHM). La cinquième couche résume notre proposition d'arborescence interactive pour la gestion et la traçabilité des décisions, tandis que la dernière définit à la fois une «bonne pratique» d'utilisation en collaboration ainsi que les outils à disposition pour faciliter ces collaborations.

L'ensemble du schéma se construit sur un exemple de conception hypothétique d'un sèche-cheveu, qui présente toutes les caractéristiques nécessaires, en termes de profils courbes et de complexité, au soutien de notre propos.

Les paragraphes suivants vont détailler toutes les couches de lecture à partir des étapes du *Process*, dans un style de rédaction volontairement plus succinct et structuré. Nous ferons également des liens avec certains travaux actuellement en cours au LUCID de l'Université de Liège.



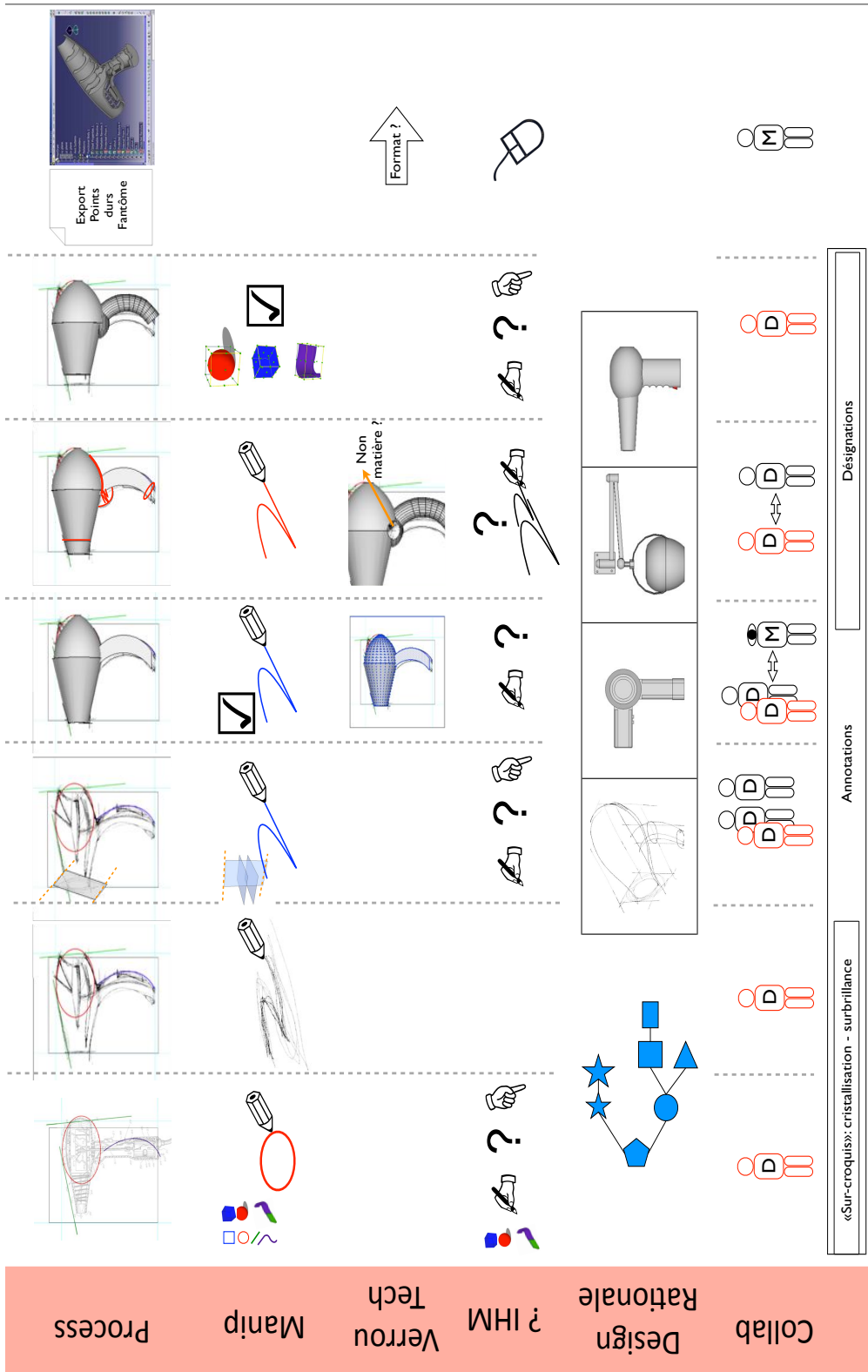


Fig. 228 - schéma global du fonctionnement du système d'assistance.

## 1. Conceptualisation du système d'assistance

- 1.1. Etape 1 du Process : l'introduction de fonds de plan et le positionnement de primitives géométriques de structure - la génération et l'exploitation d'un environnement pré-existant

### *Description :*

L'importance du travail sur fond de plan et des primitives de structure dans la plupart des contextes observés requiert que l'interface puisse supporter, sur un calque particulier, l'import de représentations de différents formats (graphique 2D ou volumique, cf. figure 229). En superposant sur ce calque «fond de plan» un nouveau calque de travail, il est proposé dans un premier temps à l'utilisateur d'extraire de ce fond de plan l'information nécessaire (étape facultative). Il va pouvoir positionner, sur ce calque de travail, plusieurs primitives de base qui peuvent être 2D (des cercles ou ellipses, des carrés ou rectangles, des courbes quelconque mais «propres», «tendues» à la manière des outils de CAO) ou 3D (leur équivalent en volume, cf. figure 230). L'utilité des primitives volumiques comme soutien à l'introduction de traits a été démontré au travers de nombreux travaux (Mitani, Suzuki, & Kimura, 2000 ; Kara, D'Eramo, & Shimada, 2006; Kara, Shimada, & Marmalefsky, 2007), ces auteurs définissant également des principes interactifs simples pour la génération de ces volumes. En design industriel, ces volumes peuvent

- accélérer la génération d'un modèle 3D esquissé lors de l'externalisation d'une image mentale forte ;
- faciliter l'évaluation dynamique de formes pré-inventives ;
- constituer des boîtes englobantes, structures de base pour la génération de plans de référence (voir étapes suivantes).

Les primitives de base extraient l'essence utile du fond de plan : si ce dernier est trop lourd visuellement, l'utilisateur pourra ainsi désactiver son calque tout en conservant l'information utile.

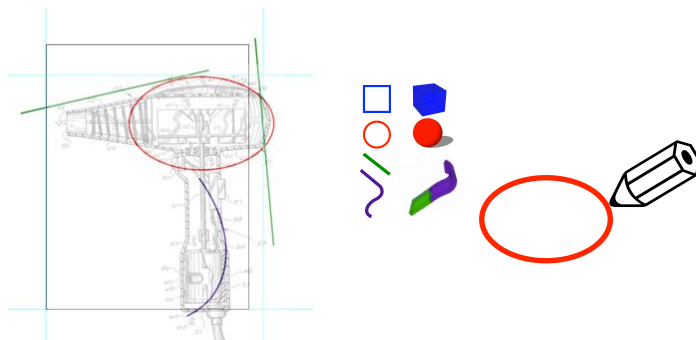


Fig. 229 (gauche) et 230 (droite) - Introduction d'un fond de plan et définition, au stylo, des primitives de structure (2D ou 3D).

*Manipulation :*

Nous suggérons une manipulation au stylo électronique pour toutes les entrées en format 2D. La génération, la mise à l'échelle et le positionnement de primitives volumétriques pourra se faire au stylo, bien que ce dispositif ne soit pas l'outil le plus aisé pour évoluer dans un espace 3D. Une interaction haptique ou tactile pourrait être plus recommandable (une courte expérimentation en IHM suffirait pour le confirmer).

*Verrou(s) et questions ouvertes :*

Evaluer les différentes interactions IHM et leur pertinence au travers de quelques expérimentations ciblées avec des concepteurs experts et novices (expertise dans le domaine de conception ; expertise dans l'usage des outils médiateurs).

## 1.2. Etape 2 du Process : le dessin à main levée au stylo numérique

*Description :*

L'utilisateur pourra ensuite dessiner à main levée un ensemble illimité d'objets, sur différents calques qui pourront être mis l'un sur l'autre (en transparence ou non) ou côte à côte sur l'interface pour une comparaison aisée des variantes. Il sera tout à fait libre de dessiner absolument tout ce qu'il désire, sous n'importe quel angle (perspective, coupe, élévation, ...) et dans n'importe quel niveau d'abstraction (diagramme, check-list, dessin esquissé ou détaillé), comme s'il dessinait sur une feuille de papier aux dimensions illimitées (figure 231). Si l'on s'attend à ce stade de la conception à des formes principalement esquissées et globales, le système laissera donc la possibilité d'introduire des données plus détaillées et techniques, s'adaptant ainsi à toutes les phases de la conception préliminaire.

L'utilisateur pourra, s'il le désire, activer des «aides» au dessin en perspective<sup>2</sup> (simples axes et grilles de soutien au dessin en perspective axonométrique ou conique, au choix) ou aides au dessin de géométries simples (en utilisant les mêmes primitives 2D que pour l'étape 1 ; en utilisant une fonction «symétrie» etc.). La perspective favorisant la recherche plurielle d'idées et constituant un des médiums les plus polyvalents, il nous faut effectivement fournir au concepteur des outils robustes pour sa définition.

L'interface mettra à sa disposition un plumier virtuel de crayons de différentes duretés (tel qu'on peut le retrouver dans l'interface Tragere®) et de différentes couleurs. Le hardware utilisé pourra capturer pression et inclinaison du stylo de manière à proposer à l'utilisateur différents rendus qui soutiendraient la génération de cycles *flous-répétés-cristallisés*. Aucune beautification des traits n'est requise à ce stade (figure 232).

---

<sup>2</sup> En s'inspirant des travaux de Huot par exemple, qui a approfondi l'étude des indices qui structurent la perspective (Huot, 2005)

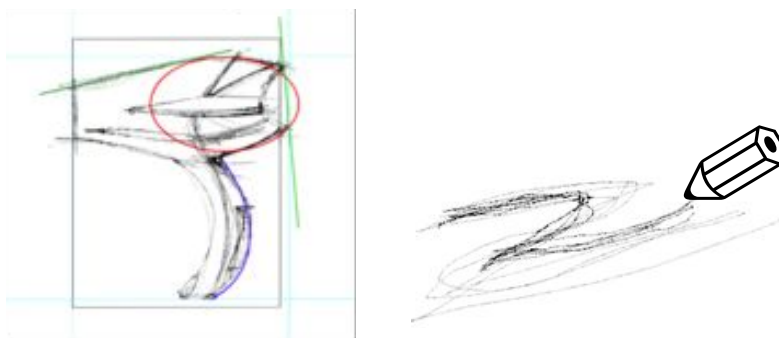


Fig. 231 (gauche) et 232 (droite) - Croquis libre, traits non beautifiés.

*Manipulation :*

L'interaction se fera au stylo.

*Verrou(s) et questions ouvertes :*

Sans objet.

- 1.3. Etapes 3 et 4 du Process : le positionnement de plans pour la construction interactive du modèle esquissé et la génération du modèle esquissé cohérent

*Description :*

Une fois la phase de dessin à main levée achevée, l'utilisateur pourra alors sélectionner les quelques calques qui correspondent à la variante qu'il désire voir évoluer, pour les positionner les uns par rapport aux autres dans un espace 3D de travail. Si son travail se compose d'élévations et de coupes, il pourra positionner et intersecter ces calques devenus semi-transparents pour commencer à structurer son projet dans la troisième dimension (figure 233). Si son travail est développé en perspective(s), il pourra définir et positionner quelques plans intermédiaires connectés aux «points durs» du profil, de manière à faciliter la génération des lignes de force de la volumétrie. S'il réalise qu'il veut poursuivre le travail sur un des calques ou dessiner sur un nouveau calque, il pourra le rendre à nouveau opaque et le calque en question se positionnera automatiquement comme le plan de référence, perpendiculairement à son point de vue.

Une fois ces plans positionnés, l'utilisateur débutera alors la phase de reconstruction interactive du modèle esquissé. En reliant sur les plans des points de connexion, en définissant des lignes de force de la volumétrie dans l'univers 3D (en exploitant ou non les aides au dessin mais en utilisant obligatoirement un feutre bleu, voir ci-dessous), il créera peu à peu un modèle filaire de son projet (les traits seraient beautifiés à ce stade).

Nous nous inspirons ici de l'interaction mise en place pour le prototype I Love Sketch (Bae, Balakrishnan, & Singh, 2008), tout en facilitant la phase d'input des données. Dans I Love Sketch les utilisateurs (manifestement experts en dessin) définissent rapidement un plan de référence à l'aide de quelques gestes et dessinent ensuite sur ce plan, qui peut être positionné dans la profondeur de l'espace. Ce principe de dessin dans un espace 3D n'étant pas en adéquation avec le système perceptif humain (structuré à partir d'un ensemble de plans 2D), nous préférons repositionner systématiquement le plan de référence perpendiculairement au point de vue, de manière à mieux contrôler le positionnement des traits dans l'espace et ne pas avoir à s'inquiéter de la «profondeur» atteinte par son coup de crayon. En d'autres termes, dès que l'utilisateur désirera tirer un trait, il devra définir et positionner un plan de référence (ou sélectionner un plan existant), qui se positionnera automatiquement perpendiculairement à son point de vue. Si la courbe doit être gauche, nous suggérons une définition en deux étapes : un premier profil défini dans un plan de référence, suivi d'une modification spatiale de la courbe à l'aide de poignées mobilisables<sup>3</sup> (la manipulation des poignées pourrait se faire immédiatement dans l'environnement 3D, en optant ou non un point de vue bi-dimensionnel pour le contrôle de la profondeur de manipulation).

A partir d'un nombre limité de plans (les premiers calques utilisés en mode «dessin à main levée» ainsi que quelques plans ajoutés pour définir les courbes de référence du profil 3D), le système sera capable d'interpoler les profils intermédiaires nécessaires à la définition de courbes. Le nombre de profils intermédiaires extrapolés sera défini par défaut (pour une génération de volumes aux profils «doux»), mais l'utilisateur pourra augmenter le pas de segmentation pour adoucir et lisser encore les volumes (voir par exemple à ce sujet les travaux de Ciblac (2011)).

Des «peaux» translucides se refermeront peu à peu autour du modèle 3D filaire, indiquant intuitivement à l'utilisateur si le nombre de courbes de référence et de profils intermédiaires est suffisant. Cette fermeture en peaux adoptera un profil convexe par défaut, une fois encore l'utilisateur pourra en modifier les paramètres pour gonfler ou aplatir les profils selon ses goûts. Le modèle esquissé se formera peu à peu, au fil des zones détectées et refermées, permettant à l'utilisateur d'évaluer en temps réel la pertinence de sa proposition prenant forme, sans le laisser face au modèle purement filaire proposé par I Love Sketch et dont on sait qu'il complexifie la visualisation (cf. section 4.1.3 du chapitre 4). A tout moment il pourra revenir en arrière, modifier des profils, des traits, supprimer des calques ou des plans de référence, en naviguant dans l'espace même de conception ou en modifiant l'arbre de capture du design rationale.

Si l'utilisateur désire voir apparaître toute l'esquisse dessinée en étape 2, il peut activer le mapping du dessin sur le volume généré (un peu à la manière des textures), de manière à évaluer comment certains détails se positionnent sur la volumétrie.

Une fois les peaux refermées sur l'ensemble de l'objet, l'utilisateur pourra manipuler dynamiquement l'objet 3D pour l'évaluer. Les peaux deviendront alors

---

<sup>3</sup> Cette méthode nous semble a priori plus intuitive et rapide que la méthode épipolaire. Une courte évaluation de la rapidité d'exécution à l'usage suffirait à s'en assurer.

opaques et donneront au modèle son aspect de «maquette en blanc» qui suffit au concepteur à ce stade (cf. section 5.2 du chapitre 3). Il pourra s'il le désire faire apparaître les lignes de force qui structurent la volumétrie (et les faire bouger via des «poignées» pour modifier le volume, cf. figure 234), ou au contraire les faire disparaître (pour éviter tout bruit visuel superflu). Il pourra à tout moment également revenir vers les phases 1 ou 2 pour modifier son projet, transférer les primitives vers une autre variante etc. Notons au passage que si le concepteur désire générer un projet qui peut se réduire à l'adjonction de quelques primitives volumiques de base, il peut bien entendu tirer profit des primitives définies dans l'étape 1 pour générer sa volumétrie (par extrusion, révolution, opérations booléennes par exemple) et décider de ne pas passer par l'étape de génération des lignes de force.

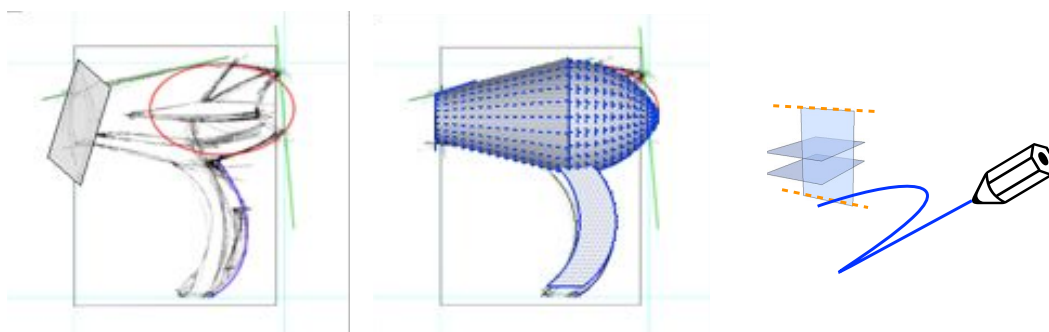


Fig. 233 (gauche), 234 (centre) et 235 (droite) - Positionnement des calques dans l'espace pour la construction interactive de la troisième dimension ; lignes de force et feutre bleu.

#### *Manipulation :*

La génération des lignes de force sera effectuée à partir d'un outil «feutre» spécifiquement dédié à cette tâche (ici représenté par un trait «propre» et bleu, cf. figure 235). Si le système éprouve des difficultés à capturer et reconnaître, sur les calques de travail, les traits précédemment dessinés qui structurent directement la volumétrie, ce feutre pourrait être utilisé pour repasser ces traits et déclarer spécifiquement au système quels traits exploiter (des traits de détails dessinés pendant l'étape 2 peuvent effectivement ne pas être indispensables pour la génération de la volumétrie).

#### *Verrou(s) et questions ouvertes :*

La définition et le positionnement des plans de référence dans l'espace et/ou la génération de volumes plus simples à partir de primitives de base nécessitent une étude ciblée en interaction homme-machine. Tout comme pour l'étape 1, la manipulation au stylo d'objets 3D n'est effectivement pas toujours aisée.

#### 1.4. Etape 5 du Process : la modification sur modèle esquissé

##### *Description :*

L'évaluation dynamique du volume ainsi généré va certainement pousser le concepteur à revoir certains de ses choix. Il pourra à ce stade commencer une nouvelle variante ou modifier le modèle esquissé qu'il vient d'obtenir. Pour ce faire, il sélectionnera un second feutre dédié (ici, rouge), de manière à spécifier au système qu'il va tracer des traits qui auront pour effet de modifier le volume (figure 236). Sur base d'une gestuelle simple, il pourra ainsi tronquer son modèle (par exemple en tirant un trait rapide), ajouter un élément à la volumétrie (voir par exemple (Olsen, Samavati, Sousa, & Jorge, 2005; Schmidt, Wyvill, Sousa, & Jorge, 2005; Shesh & Chen, 2004)), générer, tirer, pousser la matière à l'aide de poignées, définir des cotes rondes pour donner à son volume des proportions correctes, ajouter des détails (Nealen, Sorkine, Alexa, & Cohen-Or, 2007). Ces interventions pourront soit, par défaut, s'accrocher au plan ou à la surface la plus proche du point de vue, soit apparaître sur un nouveau plan de référence que l'utilisateur devra alors définir au préalable. Dans les deux cas, une interaction simple, au stylo, suffira amplement à ce stade de la conception préliminaire et évitera au concepteur de perdre du temps (cf. micro-cycles de modification, «moment 13» de la conception chez PRO\_COLLAB).

Comme spécifié plus haut, le designer-concepteur pourra décider si ces modifications sont bi-univoques (i.e. impactent directement le dessin de l'étape précédente) ou univoques. Dans les deux cas, une capture des états intermédiaires permettra de changer d'avis en cours de route.

##### *Manipulation :*

Le feutre (rouge par exemple) sera distinctement assigné à la modification directe du modèle esquissé (figure 238).

##### *Verrou(s) et questions ouvertes :*

Une fois de plus se pose la question de la manipulation d'un objet 3D dans l'espace à partir d'un stylo. A celle-ci s'ajoute cette fois le contrôle de la modification d'un volume 3D (contrôle de l'ampleur, de la profondeur d'un geste modificateur).

Une bibliothèque limitée de gestes pré-définis (assignée uniquement à l'usage du feutre «rouge» pour éviter tout conflit) doit être définie. Elle permettra à l'utilisateur de spécifier quel type d'intervention il désire faire subir à son modèle (par exemple un trait de raturage signifiera que l'utilisateur désire générer de la matière - un volume connexe - entre son trait et le volume existant).

D'autres questions, telles que la génération d'un vide, ou d'une zone de «non-matière», intéresseront certainement des chercheurs en computer graphics (figure 237).

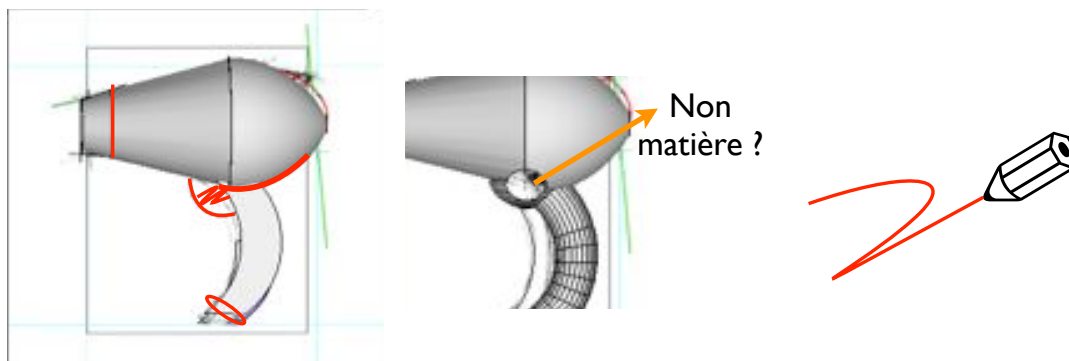


Fig. 236 (gauche), 237 (centre) et 238 (droite) - Modification du modèle esquissé ; gestion de la non matière et assignation d'un feutre rouge à cette phase de modification.

#### 1.5. Etape 6 du Process : la manipulation du modèle esquissé final

##### *Description :*

L'utilisateur pourra enfin manipuler à sa guise, dynamiquement, le modèle esquissé ainsi généré (figure 239). Des poignées seront encore à sa disposition s'il désire faire «enfler» ou «rétrécir» la volumétrie (figure 240). Il pourra générer à partir de ce volume les trois vues du projet, positionner un plan de coupe et exporter la trace graphique d'un plan de référence... bref tout élément qui pourrait être utile à l'évolution individuelle ou collaborative du projet.

##### *Manipulation :*

Au stylo, à l'aide de poignées mobilisables.

##### *Verrou(s) et questions ouvertes :*

La question de la manipulation d'objets 3D au stylo se pose à nouveau.

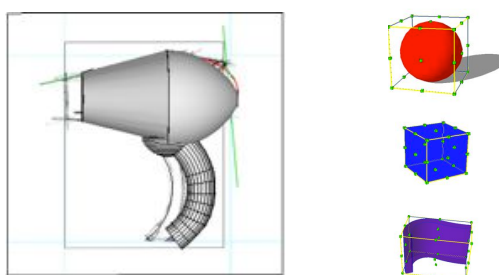


Fig. 239 (gauche) et 240 (droite) - Modèle esquissé généré et manipulation par des poignées mobilisables.



## 1.6. Etape 7 du Process : le transfert vers les outils de CAO

### *Description :*

En ayant rapidement généré son modèle esquissé, certes grossier mais cohérent, l'utilisateur pourra ensuite en exporter l'information essentielle vers les outils traditionnels de CAO. Il pourra ainsi d'une part faire subir à son projet quelques évaluations de base (détecter certaines erreurs et revenir vers le système d'assistance pour une itération supplémentaire ; intégrer le nouveau projet à un environnement pré-existant) ou bien plus simplement procéder à la modélisation détaillée du projet, si l'on se situe à une phase ultérieure du projet. Le nuage de points, la trace fantôme ou tout autre profil exploitable du modèle esquissé sera très utile à la définition volumique de ce modèle final. Il permettra au modélisateur d'entamer la phase de mise en production, tout en limitant les erreurs d'interprétation et les allers-retours superflus vers le designer.

### *Manipulation :*

Sans objet.

### *Verrou(s) et questions ouvertes :*

Le format d'export devra idéalement être universel pour une connexion à tous les outils existants (*collada* par exemple<sup>4</sup>). Au delà du transfert vers des interfaces plus traditionnelles, l'interaction pourra à nouveau se faire à la souris, même si nous doutons toujours des valeurs ajoutées de ce médium.

## 1.7. Autres fonctionnalités

### 1.7.1. Capture des variantes et des logs au sein d'une structure arborée

Le système capturera, à chaque étape, une version éditable et dynamique du projet en son état (pour la gestion en temps réel d'information partagée et la question du contrôle des droits, voir les travaux de M. Sahmoune au LUCID, (Sahmoune, 2011)). Il positionnera cette version au sein d'une arborescence facilitée par une structure visuelle (figure 241), que l'utilisateur pourra annoter s'il désire justifier telle ou telle décision. Cette structure en arbre permettra, d'une part, de capturer les «logs», soit l'enregistrement incrémental permanent de l'ensemble des évolutions d'une situation vers une situation plus détaillée (ou modifiée - ces logs supportant la fonctionnalité

---

<sup>4</sup> Le format *collada*, ou Collaborative Design Activity, est un format de fichier standardisé (librement partagé) qui tend à uniformiser les échanges entre applications 3D interactives.

«undo») et, d'autre part, de capturer les différentes variantes évoluant en parallèle. Ces variantes pourront à tout moment être comparées les unes à côté des autres et l'utilisateur pourra très simplement re-sélectionner une étape antérieure, repartir de cet état ancien pour générer une nouvelle branche de l'arbre. Cet arbre assurera la capture des décisions et nourrira également, a posteriori, la compréhension des sauts de conception, moments si courts mais si cruciaux pour la structuration du processus.

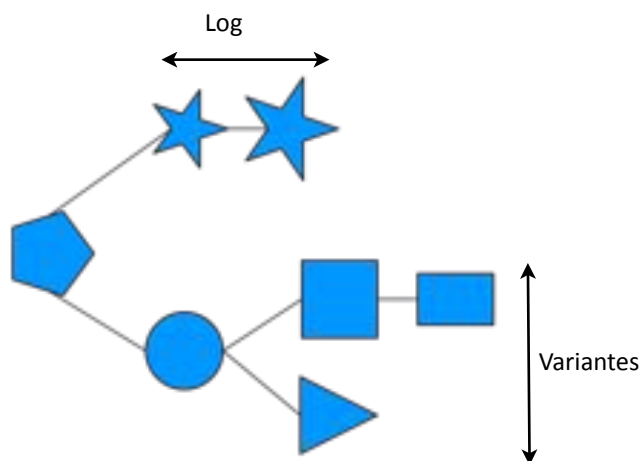


Fig. 241 - Gestion des variantes et des logs en arbre pour la capture du design rationnelle.

### 1.7.2. Usage collaboratif de l'interface

En termes d'usage collaboratif, la couche «collab» de la figure 228 indique, pour chaque étape, quels utilisateurs sont potentiellement utiles. Le designer-concepteur («D» et en rouge) contrôlera bien entendu chacune des étapes jusqu'à l'export ultime vers la CAO en toute fin de projet, où le dessinateur-modélisateur prendra le relais. Ce dessinateur-modélisateur («M» et en noir) pourra interagir de son côté avec une version non éditable du modèle esquissé (ou même, si l'équipe le désire, avec la version dessinée de l'étape 2) pour faire remonter le plus tôt possible ses conseils et détections d'erreurs vers le designer. Son intervention de mise au point du modèle détaillé sera repoussée le plus tard possible, de manière à éviter les pertes de temps causées par les interfaces CAO actuelles.

Le fichier pourra effectivement être partagé, transféré d'une personne à l'autre, le designer-concepteur responsable se gardant le droit d'activer ou non l'édition et/ou l'ajout de variantes et/ou l'ajout d'annotations et de tagging. Chacune des annotations générées sera facilement attribuée à un individu et elle contiendra (sous un format visuel et simple) des informations quant à son degré d'urgence opérative, sa durée de vie et à son contenu (pour l'accroche des annotations à un objet 3D, voir les travaux de T. Chandelle au LUCID, (2011), figures 242 et 243, ou ceux de Hisarciklilar et Boujut (2008)). L'information propre à chaque annotation facilitera sa récupération et son rattachement à l'arborescence (un peu à la manière d'ARIA pour les photographies, (Lieberman & Liu, 2006)). De même, chaque édition du dessin ou du modèle pourra facilement être attribuée à son auteur, au travers d'un code couleur par exemple. Si la

gestion des annotations, des modifications devient trop compliquée à cause de la densité d'information, un calque supplémentaire de collaboration pourra être ajouté. Celui-ci «gèlera» la représentation (dans son état statique, ou dynamique mais non éditable) et pourra supporter des annotations plus libres, moins structurées.

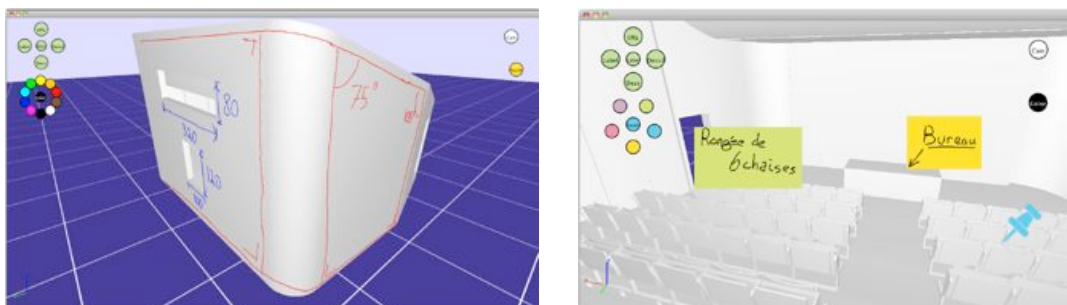


Fig. 242 (gauche) et 243 (droite) - Accroche de l'annotation sur un objet 3D et création de labels. Figures extraites de (Chandelle, 2011).

Lors d'un travail collaboratif sur une interface commune, la version dessinée et modélisée du projet pourra être taggée ; certains traits pourront être mis en surbrillance et certaines parties du modèle pourront être déclarées «fantôme» pour faciliter la synchronisation et la visualisation explicative.

Si la phase de modélisation détaillée requiert une répartition des tâches entre plusieurs acteurs, une définition dessinée des interfaces topologiques de partage du modèle pourra être imaginée de manière à simplifier l'accès aux parties du modèles ; cette interface structurera les tâches individuelles.

La gestion des calques permettra de définir des calques «de précaution», sur lesquels tout collaborateur pourra intervenir (pour annoter, tagger, mais aussi générer une variante dessinée ou modélisée) sans porter atteinte à la structure «mère» de l'arbre du projet (un peu à la manière des calques transparents utilisés dans VR Sketchpad (Do, 2001)). Un arbre connexe, de collaboration, pourra alors porter la génération des variantes - variantes que le designer-concepteur responsable pourra réintégrer à l'arbre mère s'il le désire, à l'aide d'un simple «glisser - déposer». Ces calques outilleront une annotation dense et constante s'il le faut, sans surcharger la base commune de travail.

Ces calques de précaution seront également utiles au designer-concepteur s'il désire geler certains attributs de son projet. L'ajout d'un calque aux fonctionnalités particulières permettra ainsi par exemple de geler en l'état une partie de l'arborescence, ou même certaines sélections au sein de l'esquisse (dessinée ou modélisée).

### 1.7.3. Hardware

En termes de hardware, indépendamment d'une surface qui devra accepter une interaction au stylo numérique, nous recommandons l'usage d'une tablette écran qui favorise un retour visuel immédiat. Cette tablette pourra prendre des dimensions importantes pour un usage collaboratif. Un système centralisé de gestion des fichiers auxquelles toutes les tablettes seront connectées permettra de conserver la portabilité du papier tout en limitant les pertes d'informations. La connexion de plusieurs stylos (dont les utilisateurs seront reconnus) permettra une manipulation aisée et collaborative des fichiers (la passation de la main se faisant naturellement au sein d'un groupe, en fonction des dynamiques en place).

Si l'interaction et la manipulation d'objets 3D au stylo constitue une de nos principales questions IHM, soulignons cependant ici que des suggestions de widgets 3D ont été faites par certains membres du LUCID, qui pourraient constituer des réponses intéressantes à la manipulation d'un seul objet ou la manipulation globale de plusieurs variantes considérées côte à côte (voir par exemple (Chandelle, 2011; Thu, 2008), figures 244 et 245). Ces mêmes outils pourraient être utiles à la visualisation et manipulation des trois vues du projet (la visualisation en parallèle de représentations redondantes facilitant certains aspect du processus de conception, (Ainsworth, 1999)). D'autres recherches, dont on trouvera un résumé dans (Johnson, Gross, Hong, & Yi-Luen Do, 2008), discutent la gestion des menus et l'accès aux différentes fonctionnalités.

Cette association de dispositifs devra s'accorder avec les évolutions rapides des interfaces contemporaines. Les technologies évoluent du centralisé au distribué, du monomodal au multimodal, du sédentaire au nomade et voient leurs modalités entrée/sortie fréquemment renouvelées (exemple : le Nabaztag® de Mindscape), ce qui plaide en faveur d'une architecture logicielle polyvalente et adaptable (Calvary et al., 2006).

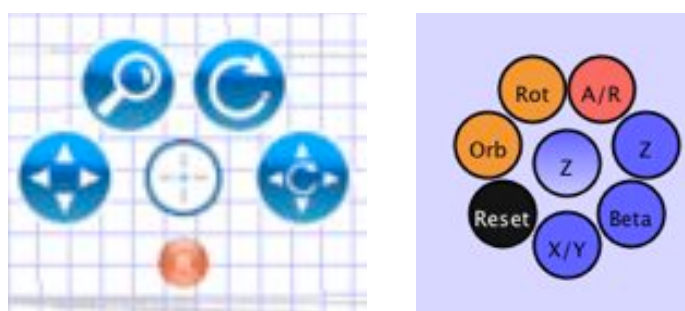


Fig. 244 (gauche) et 245 (droite) - Le widget de Thu pour l'interface SketSha du LUCID ; le widget de Chandelle pour le prototype d'annotation de SketSha 3D (LUCID). Figures extraites de (Chandelle, 2011).

D'une manière générale, le système serait bel et bien dédié à la génération rapide, intuitive et itérative de dessins et de modèles esquissés (de formes globales) et sera utile tout au long des quatre phases de notre scénario global d'usage des objets médiateurs

(figure 227). Il n'aura pas la prétention de remplacer les outils de CAO, qui interviendront tout à la fin du projet (au moment où ils sont en théorie attendus), mais son interaction stylo facilitera grandement la génération de modèles 3D pour le test et l'évaluation des proportions, des conflits etc.

## 2. Check-list de modèles pour l'ingénierie de conception

Après être entré dans le détail de l'interaction et de la manipulation, cette section va ouvrir certaines perspectives vers l'ingénierie de conception au sens large. Si la thèse s'est exclusivement attachée à l'étude des processus de conception en design industriel, avec ci et là quelques liens vers l'architecture, sa philosophie et la plupart de ses fondements théoriques et méthodologiques peuvent être étendus à d'autres métiers de la conception.

De la même manière, les résultats et spécifications de la thèse peuvent être abstraits de leurs contextes propres et peuvent être adaptés, conceptuellement, à l'assistance d'autres ingénieries et d'autres activités créatives.

Cette abstraction est prônée par la communauté de l'ingénierie dirigée par les modèles, ou IDM, qui s'attèle à la mise au point d'un ensemble de modèles conceptuels indépendants des technologies qui outillent la génération d'un nombre plus large d'applications (Sottet, Calvary, & Favre, 2005; Sottet, Calvary, Favre, & Coutaz, 2006 ; Demeure, 2007; Brossard, Abed, & Kolski, 2009). Ces IDM s'élaborent sur trois concepts structurants :

- les modèles (de concepts, de tâches, d'espaces de travail, d'interactions) ;
- le méta-modèle qui lie ces modèles et nourrit le langage de modélisation ;
- les transformations qui justifient les adaptations d'un modèle à un autre au sein de ce méta-modèle.

La figure 246 résume l'ensemble des modèles que nous avons pu extraire et abstraire des contextes observés, première étape nourricière de l'IDM.

Modèle	Critères à étudier	Objectifs poursuivis
Modèle ergonomique	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Hiérarchie et articulations des tâches (principales et secondaires ; prescrites et réelles)</li> <li>* Usage des objets médiateurs (outils + représentations) et déviations d'usage</li> <li>* Articulation de ces objets médiateurs</li> <li>* Degré d'interaction et d'allers-retours entre aspects de la tâche et objets médiateurs</li> <li>* Modalités collaboratives et répartition des tâches avec les acteurs «non évidents»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Respecter les pratiques adoptées et adaptées</li> <li>* Augmenter les pratiques perfectibles</li> <li>* Dévier, modifier les pratiques préjudiciables</li> </ul>
Modèle technologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Potentiels respectifs et complémentaires des objets médiateurs (éviter les dichotomies)</li> <li>* Articulation des états (ici, «dessin» et «CAO»)</li> <li>* Degré d'abstraction et de «qualité» des données (modélisé ? pas modélisé ?)</li> <li>* Pertinence des types d'assistance (capture ? reconstruction ? interprétation ?)</li> <li>* Temporalité et nature de l'assistance</li> <li>* Besoins réels en évaluateurs et en retours utilisateurs</li> <li>* Lien aux outils existants (ne pas réinventer la roue)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Exploiter conjointement les potentiels des objets médiateurs</li> <li>* Compenser les limitations d'un objet médiateur par les qualités d'un autre</li> <li>* Ne pas dévier l'utilisateur de ses tâches principales</li> <li>* Fournir une assistance capable et pertinente</li> </ul>
Modèle formel	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Analyser l'abstraction (interne et externe) propre à chaque phase de travail</li> <li>* Distinguer le bruit visuel de l'essence de la représentation (la key feature)</li> <li>* Remettre en question les formalismes visuels contemporains</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Alléger la représentation</li> <li>* Assurer la lisibilité et l'efficacité du rendu visuel</li> <li>* Soulager le concepteur de tout bruit visuel</li> <li>* Assurer la liberté de choix et la diversité des rendus</li> </ul>
Modèle graphique	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Contenu et essence de la trace graphique</li> <li>* Gestion des contenus (calques, cycles, articulations [bi]univoques)</li> <li>* Pertinence et temporalité de la cristallisation</li> <li>* Pertinence et temporalité de la simplification du contenu</li> <li>* Degré de granulométrie nécessaire de l'analyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Respecter la structuration du contenu</li> <li>* Respecter les cycles et séquences de traits</li> <li>* Ne pas intervenir trop vite et inutilement</li> </ul>
Modèle d'interaction	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Opportunités de manipulations</li> <li>* Articulation aux tâches connexes</li> <li>* Modalités collaboratives et modes de passation de l'information</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Faciliter les allers-retours entre modèles et intervenants; entre objets médiateurs et intervenants</li> </ul>
Modèle de traçabilité des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Structuration des données et hiérarchie de données</li> <li>* Accès, modification et récupération des données</li> <li>* Pertes et oublis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Capturer le design rationale</li> <li>* Assurer la traçabilité des décisions</li> </ul>

Fig. 246 - Check-list des modèles opérationnels pour la mise au point d'une assistance.

Cette check-list opérationnelle réunit tous les modèles qui sont susceptibles de soutenir le chercheur dans la mise au point d'un système d'assistance aux métiers de la conception. Nous dénombrons six modèles au total :

- le modèle ergonomique qui réunit tous les aspects de la tâche de conception (individuelle et collaborative) qui doivent être pistés au sein de l'activité afin d'assurer le respect des pratiques et afin d'éviter tout risque pour l'innovation ;
- le modèle technologique qui étudie les qualités respectives des objets médiateurs utilisés, leur articulation et les besoins réels en assistance afin d'assurer au système d'être capable et pertinent ;
- le modèle formel qui déjoue les monopoles visuels actuels et s'intéresse au contenu visuel réellement utile ;
- le modèle graphique qui analyse plus finement le contenu et l'essence des traces graphiques, principaux vecteurs de l'information utile à la mise au point de la temporalité d'assistance ;
- le modèle d'interaction qui analyse tant les échanges homme-homme que homme-machine pour faciliter les transferts et le respect de l'information ;
- le modèle de traçabilité des données, indispensable pour la gestion de projets complexes et multi-disciplinaires.

Le chercheur pourra ensuite, à partir de ces modèles, définir les transformations et les méta-modèles qui s'accordent au mieux avec le métier de la conception considéré.

Cette check-list de modèles pourra, nous l'espérons, assister les chercheurs de divers horizons dans la mise au point d'une assistance qui respecte les pratiques actuelles essentielles et qui tire parti des complémentarités des objets médiateurs.





# CHAPITRE 7 - Conclusions

Le chapitre 5 a discuté les potentialités respectives et complémentaires des objets médiateurs et s'est positionné en faveur d'une assistance à la conception préliminaire qui associe la puissance logicielle aux qualités intrinsèques du dessin à main levée. Le chapitre 6 a fixé les détails de cette assistance et en a ensuite élargi les concepts aux autres métiers de la conception. Le chapitre 7 va se concentrer sur les apports de la thèse et les perspectives qu'elle ouvre pour l'ingénierie de conception.

## 1. La Médiation par les objets en design industriel

Les deux principaux objets médiateurs en conception industrielle se positionnent aujourd'hui à un moment clé de leur articulation. Si le dessin à main levée reste l'outil privilégié d'externalisation des idées en phase de conception préliminaire, les logiciels de modélisation 2D et 3D prennent une place de plus en plus importante au sein des pratiques métier et orientent l'exercice de la créativité vers des terrains peu balisés.

La notion même de *conception préliminaire* doit être reconsidérée : ses frontières s'élargissent et accueillent les concepts de modèle esquissé, détaillé ou encore de revue collaborative technique du produit ; des acteurs *non évidents* tels que le dessinateur-modélisateur voient leurs tâches évoluer et interviennent de plus en plus tôt au sein du processus.

La co-existence de *deux types de conception* peut expliquer l'usage précoce des outils de CAO et les constants allers-retours entre objets médiateurs. Si la conception par conversation réflexive, ou théorie du *see-transform-see* de Schön et Wiggins (1992), justifie pleinement l'usage du couple «papier-crayon» en phase préliminaire de conception, les phénomènes d'externalisation d'une image mentale forte et de mise au point de formes pré-inventives via la CAO complètent les stratégies à disposition des concepteurs pour l'atteinte de leur objectif, à savoir la mise au point d'une solution nouvelle, adaptée au contexte mais avant tout satisfaisante.

A l'échelle de la représentation, plusieurs autres constats sont faits : les résultats confirment la prégnance des externalisations tri-dimensionnelles, la polyvalence et flexibilité des perspectives et élévations ou encore l'absence, en design industriel, d'un contenu graphique symbolique qui puisse être exploité pour une interprétation sémantique du contenu. Les modèles générés numériquement se différencient, eux,

par leur caractère dynamique et la possibilité de réintroduction dans un environnement pré-existant qui favorisent les processus d'évaluation et de tests de conflits, de proportions.

L'étude des shifts entre types de représentations et pages confirme que la transition 2D-3D s'accompagne d'un processus réflexif complexe réellement structurant pour l'évolution conceptuelle du produit. Ce mécanisme évolutif nous pousse à suggérer une assistance à la reconstruction en lieu et place d'une automatisation du transfert, qui pourrait s'avérer plus préjudiciable que bénéfique.

A l'échelle du trait, l'examen des transferts et ré-appropriations des représentations nous enseigne l'importance de quelques caractéristiques graphiques, telles que la cristallisation, les annotations ou la mise en surbrillance. Ces composants de l'essence communicable (ou la *key-feature*) apparaissent tant au sein des représentations individuelles (conversation réflexive avec sa propre représentation) que partagées et constituent la base saine de capture et de reconstruction pour le système d'assistance.

La mise en évidence des courbes principales et des cycles de traits, différents selon le type de conception et le degré d'expertise, mène également aux recommandations en termes de temporalité et de pertinence de certains aspects de l'assistance.

Les objets médiateurs sont considérés pour leurs potentiels respectifs et complémentaires et non plus seulement pour leurs dissemblances. Certains de leurs aspects, parfois révélés par les déviations d'usage, sont conservés, augmentés ou au contraire rejetés. Forces et faiblesses du dessin et de la CAO sont ainsi évaluées conjointement pour la mise au point d'une assistance qui réponde le mieux possible aux besoins réels des concepteurs.

Ce système d'assistance vise à simplifier les procédures de modélisation 3D esquissée tout en privilégiant l'interaction naturelle et intuitive du dessin à main levée. Il renforce également les mécanismes naturels de détection des erreurs (en assistant les transferts entre expertises différentes et en assurant la capture du design rationale) et tend à faciliter l'intervention de certains évaluateurs.

## 2. Perspectives pour l'ingénierie de conception

Outre la check list opérationnelle présentée en section 2 du chapitre 6, nous aimerions insister ici sur la valeur ajoutée engendrée par différentes approches et méthodologies auxquelles nous avons eu recours tout au long de la thèse.

Nous voudrions en premier lieu mettre l'accent sur la *puissance de l'approche par les objets médiateurs*. Cette approche, associée à la théorie instrumentale et plus particulièrement à l'étude des schèmes d'utilisation et déviations d'usage, fournit au chercheur un vivier substantiel de données qui ne demandent qu'à être analysées. Le concept d'objet médiateur peut être étendu à toute trace de toute activité : carnets de laboratoire, fiches de prestations ou encore relevé de commandes. Pour peu que les détails de la confidentialité aient été exposés et que les conditions d'une confiance

réciproque soient réunies, les participants partagent généreusement ce qui constitue rapidement un corpus très important d'informations.

Si l'on associe à la récupération de ces données quelques méthodes dédiées de l'ergonomie et de la psychologie cognitive, il est également relativement aisé d'atteindre, même rétrospectivement, un niveau satisfaisant de fidélité. Observations *in situ*, interviews semi-dirigées et analyses rétrospectives permettent au chercheur d'appréhender tous les aspects d'une activité, même ceux auxquels il ne s'intéresse pas a priori mais qui peuvent ensuite s'avérer cruciaux. L'étude des *besoins réels des acteurs évidents et non évidents* assure la mise au point de modèles, méthodes ou outils qui restent respectueux des pratiques quotidiennes tout en améliorant les aspects perfectibles. Cette approche, quel que soit son domaine d'application, ne constitue jamais un risque pour l'innovation. Elle permet au contraire au chercheur et à l'ingénieur d'être plus pertinents dans la mise au point d'une solution et de voir ainsi le résultat de leurs travaux être plus rapidement adopté par les acteurs concernés.

Une fois les données récoltées, le chercheur pourra alors, à sa convenance, leur appliquer un traitement quantitatif ou qualitatif, fonction des objectifs poursuivis. Nous insistons cependant sur *la valeur-ajoutée d'une approche qualitative*, même secondaire : en appui d'un traitement quantitatif des données, l'analyse fine des sauts de l'activité témoigne toujours des aspects moins systématiques de la réponse humaine.

Nous plaidons enfin en faveur d'une *approche multi-disciplinaire* pour toute activité de près ou de loin relative à l'être humain. Quel que soit le niveau de technicité atteint par la recherche ou par son produit, le chercheur ingénieur gagnera à être au fait de quelques méthodes de base pour savoir comment aborder les sujets de son étude ou comprendre les besoins de ses utilisateurs finaux (directs et indirects). Respectivement, le chercheur en ergonomie ou en psychologie, s'il s'attèle à des thématiques plus technologiques, pourra atteindre plus efficacement un niveau de compréhension fin de l'activité en s'appropriant rapidement le vocabulaire du métier considéré.

### 3. Limitations

Un projet de recherche de ce type s'accompagne toujours d'un ensemble de limitations qui ont pour avantage d'ouvrir un large champ d'explorations futures.

Dans notre cas, les postulats et hypothèses posés en sections 2 et 3 du premier chapitre réduisent efficacement le panorama de la recherche mais en limitent également l'applicabilité. L'investigation de certaines questions, comme l'impact de l'usage de la CAO sur la qualité du produit fini, est également volontairement évitée. Cette option, si elle favorise une certaine neutralité vis-à-vis des produits de la conception observés, constitue cependant un des sujets principaux de nos recherches futures (voir section suivante).

Dans le même registre, nous avons évité tant que possible d'émettre un jugement quant à l'efficacité des processus de conception observés. En faisant l'hypothèse que

les concepteurs sont les premiers à évaluer la qualité de leur travail, nous avons effectivement considéré tous les mécanismes comme égaux en valeur. Une approche plus systématique de la productivité atteinte dans chaque cas ouvrirait cependant d'intéressantes pistes en matière d'enseignement par exemple.

Les hypothèses de départ limitent enfin la variété des produits traités et le nombre d'objets médiateurs observés. Nous avons fait état, dans le premier chapitre, des grandes différences qui existent entre les secteurs de la conception industrielle (automobile, manufacturière lourde, médicale, ...). En nous concentrant sur quelques familles de produits spécifiques nous limitons bien évidemment l'aire d'application de nos recommandations.

Il doit également être fait état de quelques limitations méthodologiques. Le mode de récupération des traces a largement varié d'une étude à une autre (observation *in situ*, séances d'auto-film, dispositifs de tracé particuliers, ...) et ces choix impactent les résultats obtenus ainsi que, dans une moindre mesure, les processus de conception capturés.

C'est certainement l'observation *in situ* qui génère le plus de variabilités tout en restant la technique la plus respectueuse des pratiques réelles. Même en sachant à l'avance quels aspects particuliers de l'activité il désire étudier, le chercheur se trouve toujours dans l'expectative de ce que les circonstances peuvent (ou ne peuvent pas) offrir. Une vigilance de tous les instants est de mise pour se saisir de ce qui constituera l'essence de la recherche : la capture de chaque détail est impossible, surtout avec des moyens humains si limités, mais il faut néanmoins rester réceptif à toute «donnée surprise». L'imprévisibilité des contextes réels d'observation laisse de plus le chercheur impuissant face aux hasards de la situation : nous n'avons par exemple pu finalement capturer qu'un seul processus de modélisation complet (chez PRO\_COLLAB).

Chez PRO\_DUO, c'est plutôt l'organisation des tâches et leur variabilité temporelle qui ont impacté les résultats obtenus. En ne voulant pas encombrer davantage l'espace de travail, nous avons effectivement laissé aux concepteurs le soin de démarrer les enregistrements vidéos durant les quelques jours où ils s'étaient proposé de travailler au projet étudié. Des modifications imprévues de l'agenda initial et des oublis dans le lancement du dispositif ont causé la perte de quelques séquences de conception. La résolution et l'angle de vue des caméras a de plus limité la possibilité d'analyse fine du contenu graphique.

En demandant au concepteur d'ANOTO d'utiliser le stylo-enregistreur, nous avons perdu l'information verbale, très utile pour la capture des phases du processus de conception et la compréhension de son intention. Au contraire des autres études où les designers travaillaient en équipe, il était peu probable qu'Antoine verbalise ses pensées alors qu'il était seul ; nous n'avons cependant pas souhaité lui demander d'adopter le protocole du *think aloud* (au contraire des participants de l'expérimentation TRAGERE, plus courte), de peur d'impacter trop fortement le déroulement naturel de sa pensée. Il a été donc plus difficile d'atteindre certaines informations et souvent plus délicat de les déduire nous-même : à défaut d'une contre-analyse des données, nous avons préféré ne pas coder certains passages.

Ce manque de moyens, cumulé au manque de temps, ne nous a pas permis de mettre au point des *focus groups* avec designers, dessinateurs et informaticiens afin d'obtenir des retours utilisateurs précoces quant aux spécifications proposées. Nous aurions également voulu effectuer plus d'auto-confrontations auprès de certains sujets, en leur rejouant par exemple une sélection de courts extraits vidéo : cela nous aurait permis d'approfondir l'examen de certaines questions, comme par exemple l'étude de l'impact des formalismes visuels.

Nous aurions enfin voulu pouvoir fournir à chaque participant un retour sur l'expérience vécue. Nous n'avons pu discuter des retombées de la recherche qu'avec les responsables de l'entreprise de PRO\_COLLAB qui, nous l'espérons, auront pu tirer comme nous le plein profit de ce que les objets médiateurs ont à offrir à une ingénierie de l'innovation.

#### 4. Travaux futurs

Un séjour de recherche d'un an est entamé au Massachusetts Institute of Technology, à l'Ideation Lab dirigé par le Prof. Maria Yang (département d'ingénierie mécanique). Ce séjour nous offre le moyen concret de poursuivre l'examen de quatre thématiques de recherche :

- *à propos des usages (et déviations d'usage) des objets médiateurs en contextes réels et contrôlés ; à propos des retombées de ces usages sur la qualité du produit fini :*

Le département conception d'une entreprise internationale de vente d'outils met à notre disposition l'ensemble des données relatives à deux projets types : un projet considéré comme un échec et un projet considéré comme un succès (et ce dès les phases de conceptions préliminaires). L'étude des usages des objets médiateurs tout au long de ces deux processus nous permettra peut-être de dégager certaines causes de l'échec, de déduire un ensemble de «bonnes pratiques» pour l'exploitation temporelle et opérationnelle des outils et de tester les concepts de notre système d'assistance.

En outre, il va être demandé à deux groupes d'une quarantaine d'étudiants de dernière année en ingénierie mécanique de concevoir du matériel de cuisine en un temps limité et dans un contexte contrôlé. Le premier groupe ne pourra utiliser que le dessin à main levée, tandis que le second ne pourra faire usage que de logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (les préférences et expertises des étudiants ayant été définies à l'avance). Un jury composé d'experts designers et de professeurs évaluera ensuite à l'aveugle les produits finis selon plusieurs critères. Les résultats de l'évaluation fourniront, nous l'espérons, d'intéressantes pistes quant à l'impact de l'usage des objets médiateurs sur les différentes qualités des produits et des processus de conception. L'observation *a posteriori* des séquences de modélisation fournira par ailleurs des données relatives aux schèmes d'utilisation de la CAO.

Nous participerons enfin à une expérimentation complémentaire, mise au point par un des doctorants de l'équipe dans le cadre d'un cours donné par le Prof. Yang. Une centaine d'étudiants seront répartis en petits groupes et il leur sera demandé d'entamer la conception d'un objet simple en utilisant exclusivement le dessin à main levée. Chaque groupe sera alors interrompu à divers stades du processus et il sera demandé aux étudiants de procéder à la suite de la conception en n'utilisant plus que l'ordinateur. La comparaison des différents résultats (en tenant compte des répartitions temporelles différentes dans l'usage des outils) nous permettra de pister l'évolution de l'idée et de capturer les divergences entre l'état «dessin» et l'état «modèle 3D». D'autres impacts seront examinés, tels que l'externalisation d'une image mentale forte et les principes de *premature fixation* lors du passage d'un outil à un autre.

- *à propos de l'impact du formalisme visuel sur le processus de conception et sur la qualité du produit fini :*

Une expérimentation va être très prochainement lancée sur Amazon Mechanical Turk®, cette interface web rassemblant plusieurs milliers d'utilisateurs distants désireux de réaliser des courtes tâches contre rétribution (*crowdsourcing*). Nous soumettrons à trois groupes d'une quarantaine d'utilisateurs trois formalismes visuels différents d'un même objet. Il sera demandé aux participants de dessiner très rapidement quelques concepts en relation avec cet objet référent. Nous évaluerons selon plusieurs critères si le formalisme de l'objet référent a un impact quelconque sur le résultat de ce micro processus de conception. Le traitement plus quantitatif des résultats complètera notre expertise en analyse qualitative du contenu.

- *à propos de l'articulation de différents objets médiateurs dans un environnement d'enseignement et plus particulièrement des potentiels offerts par les prototypes et les croquis :*

Les chercheurs de l'équipe rassemblent depuis trois ans toutes les traces graphiques (dessins, prototypes, rapports d'activité) d'étudiants travaillant par petits groupes sur la conception d'objets divers. L'étude de l'usage des prototypes révèle que les équipes qui y ont recours très tôt fournissent des projets qui sont significativement jugés meilleurs. L'examen des autres traces (dessins et modèles 3D) va être réalisé pour évaluer dans quelle mesure l'externalisation de l'idée au travers d'autres médiums participe à la qualité déclarée du produit fini.

- *à propos de la capture et la perception d'indices graphiques pour la mise au point d'une assistance en architecture :*

Une vingtaine d'expérimentations courtes viennent d'être réalisées pour évaluer comment des sujets novices perçoivent et recopient un croquis architectural flou (2D). Les résultats préliminaires suggèrent que 80 % des sujets abordent en premier lieu la globalité de la représentation (en recopiant les murs extérieurs, puis en divisant l'espace en zones «pièces»), pour ensuite aborder la représentation zone par zone et exploiter enfin leur reconnaissance des symboles pour déduire les fonctions des

espaces. Les symboles non reconnus sont simplement graphiquement couchés sur le papier, sans plus d'interprétation, tandis que certains éléments tels que fenêtres et épaisseurs des murs sont parfois ignorés. Certaines erreurs présentes dans le croquis initial sont récupérées, à raison d'un sujet sur trois environ.

L'étude de ces mécanismes perceptifs, interprétatifs et de récupération pourront éventuellement nourrir des réflexions quant à la pertinence des approches synchrones/asynchrones, chronologiques/par zonage et incrémentales/différentielles pour la mise au point d'un système d'assistance en architecture.

La coopération avec des étudiants et professeurs de l'ingénierie mécanique nous ouvre ainsi d'autres portes et nous permet de tester nos modèles et résultats à la lumière d'un autre domaine. L'ingénierie mécanique se positionne stratégiquement, par plusieurs de ses aspects, entre l'architecture et le design industriel. L'utilisation de composants standardisés et la considération systématique des principes constructifs structurent ses processus, tandis que son contenu symbolique et ses modes traditionnels d'externalisation en font un domaine intermédiaire en terme de sémantique graphique.

A plus long terme, nous aimerions examiner à quel point les concepteurs tiennent compte des utilisateurs finaux au cours de la conception préliminaire et comment les objets médiateurs à leur disposition outillent cet aspect de la conception. Cet intérêt et toutes les thématiques dont il vient d'être question articulent *concepteur*, *objets médiateurs*, *processus de conception* et *utilisateur final* en un ensemble cohérent et s'engagent en faveur d'une ingénierie de la conception polyvalente et multidisciplinaire.





## BIBLIOGRAPHIE

---

- Abdelhameed, W., Ozel, F., & Abdellatif, M. (2004). *Digital Media Impact on the Knowledge Building and Retrieving Capability of Architects*. Paper presented at the SIGRADI.
- Achten, H. (2005). Resolving some Ambiguities in Real-time Design Drawing Recognition by means of a Decision Tree for Agents. In B. Martens & A. Brown (Eds.), *Computer Aided Architectural Design Futures 2005* (pp. 311-320): Springer Netherlands.
- Achten, H., de Vries, B., & Jessurun, A. (2000). *DDoolz-A Virtual Reality Sketch Tool for Early Design*. Paper presented at the CAADRIA 2000: Proceedings of the Fifth Conference in Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Singapore.
- Achten, H., Dorst, K., Stappers, P. J., & de Vries, B. (2005). *A decade of design research in the Netherlands*. Paper presented at the Design Research in the Netherlands, Symposium.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131-152.
- Alvarado, C. (2004). *Multi-domain sketch understanding*. PhD, Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- Alvarado, C., & Davis, R. (2001). *Resolving ambiguities to create a natural computer-based sketching environment*. Paper presented at the IJCAI: Proceedings of IJCAI-01.
- Anastassova, M. (2006). *L'analyse ergonomique des besoins en amont de la conception de technologies émergentes - Le cas de la réalité augmentée pour la formation à la maintenance automobile*. PhD, Université René Descartes, Paris 5, Paris.
- Anoto. (2011). "Digital Pen." from [www.anoto.com](http://www.anoto.com).
- Aoyama, H., Nordgren, A., Yamaguchi, H., Komatsu, Y., & Ohno, M. (2007). Digital style design systems from concept to sophisticated shape. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 1(2), 55-65.
- Arvo, J., & Novins, K. (2005). *Appearance-Preserving Manipulation of Hand-Drawn Graphs*. Paper presented at the GRAPHITE'05 Proceeding of the third international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia.
- Asanowicz, A. (2005a). *Computer Renderings - "Reality is Overrated"*. Paper presented at the Proceedings of eCAADe 23 conference - digital design and methods, Lisbon, Portugal.
- Asanowicz, A. (2005b). *Information at Early Design Stages*. Paper presented at the Architectural Information Management 2005 - Design Process.
- Bae, S.-H., Balakrishnan, R., & Singh, K. (2008). *ILoveSketch: as-natural-as-possible sketching system for creating 3d curve models*. Paper presented at the Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology, Monterey, CA, USA.
- Bae, S.-H., Balakrishnan, R., & Singh, K. (2011). I Love Sketch, from <http://www.dgp.toronto.edu/~shbae/ilovesketch.htm>

- Bailey, R. (2000). *The Intelligent Sketch: Developing a Conceptual Model for a Digital Design Assistant*. Paper presented at the Proceedings of ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, Washington.
- Ball, L., & Christensen, B. (2009). Analogical reasoning and mental simulation in design: two strategies linked to uncertainty resolution. *Design Studies*, 30, 169-186.
- Barthe, B., & Quéinnec, Y. (1999). Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'année psychologique*, 663-686.
- Basa, I., & Senyapili, B. (2005). The (in)secure position of the design jury towards computer generated presentations. *Design Studies*, 26(3), 257-270.
- Bastien, J., & Scapin, D. (1995). Evaluating a user interface with ergonomic criteria. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7, 105-121.
- Baxter, R. J., & Berente, N. (2010). The process of embedding new information technology artifacts into innovative design practices. *Information and Organization*, 20(3-4), 133-155.
- Béguin, P. (1996). *De la complexité du problème à la complexité entre les individus dans les nouvelles stratégies de conception*. Paper presented at the Colloque de l'école d'architecture de Marseille-Lunigny.
- Béguin, P. (1997). Le schème impossible, ou l'histoire d'une conception malheureuse. *Design Recherche, Research Innovation Revue, Revue scientifique de la conception et du développement des produits industriels*, 10, 7-20.
- Béguin, P. (2007). Prendre en compte l'activité de travail pour concevoir. *@activités*, 4(2), 107-114. Retrieved from
- Béguin, P., & Darses, F. (1998). *Les concepteurs au travail et la conception des systèmes de travail: Points de vue et débats*. Paper presented at the Recherche et ergonomie, Toulouse, Toulouse.
- Béguin, P., & Rabarbel, P. (2000). Concevoir pour les activités instrumentées. *La revue d'intelligence artificielle*, 14, 35-54.
- Béguin, P., Rabarbel, P., & Trotta, J. (1992). *Aspects collaboratifs du travail avec la CAO : intégration et coordination, deux caractéristiques de l'activité de conception en ingénierie industrielle*. Paper presented at the 27ème congrès de la SELF.
- Belliès, L. (1994). *Ne reviens pas m'voir dans cinq ans - Différentes approches de l'activité collective de conception*. DEA, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- Bilda, Z., & Demirkan, H. (2003). An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media. *Design Studies*, 24(1), 27-50.
- Bilda, Z., & Gero, J. (2005). Do We Need CAD during Conceptual Design? In B. Martens & A. Brown (Eds.), *Computer Aided Architectural Design Futures 2005* (pp. 155-164): Springer Netherlands.
- Bilda, Z., & Gero, J. (2005). *Does sketching off-load visuo-spatial working memory?* Paper presented at the Studying Designers '05, Sidney, Australia.
- Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies*, 27(5), 587-613.

- Birks, M., Chapman, Y., & Francis, K. (2008). Memoing in qualitative research - Probing data and processes. *Journal of Research in Nursing* 13(1): 68-75.
- Blanc, J., Bureaux, S., Cairo, E., François, C., Jalet, V., Jouin, P., Lecomte, F., Lelong, A., & Rieffel, F. (2008). *Design d'objets*: Eyrolles.
- Blavier, A. (2006). *Impact des images en 2D ou 3D sur les processus cognitifs impliqués dans le traitement visuel et dans le contrôle de l'action: le cas de la chirurgie minimale invasive*. Docteur en psychologie, Université de Liège, Liège.
- Blessing, L. T. M. (1994). *A process-based approach to computer-supported engineering design*. PhD, University Twente, Enschede, the Netherlands.
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception - Approches cognitives et ergonomiques*.
- Borillo, M., & Goulette, J. P. (Eds.). (2002). *Cognition et création, explorations cognitives des processus de conception*. Belgium: Mardage Eds.
- Bouchard, C., Aoussat, A., & Duchamp, R. (2006). Role of sketching in conceptual design of car styling. *Journal of Design Research*, 5(1), 116-148.
- Boujut, J., Darses, F., & Guibert, S. (2007). Etude des annotations en situation collaborative de conception mécanique. In P. Salembier & M. Zacklad (Eds.), *Annotations dans les documents pour l'action* (pp. 127-152). Paris: Lavoisier.
- Boulanger, C., Decortis, F., & Leclercq, P. (2006). Annotations et architecture. In P. Salembier & M. Zacklad (Eds.), *Annotations dans les documents pour l'action* (pp. 115-134). Paris: Hermes-Lavoisier.
- Bourmaud, G. (2006). *Les systèmes d'instruments : méthodes d'analyse et perspectives de conception*. PhD, University Paris 8, Saint Denis.
- Brassac, C. and Gregori, N. (2003). Etude clinique d'une activité collaborative : La conception d'un artefact. *Le travail humain* 66(2): 101-126.
- Brossard, A., Abed, M., & Kolski, C. (2009). *Personnalisation et prise en compte du contexte dans les modèles conceptuels pour la conception des SI*. Paper presented at the Actes de PeCUSI 2009, Toulouse.
- Bugeaud, F., Giboin, A., & Soulier, E. (2010). *Shared Representations for Innovation: Experience Feedback on Two Innovation-oriented Projects*. Paper presented at the COOP'10 Workshop: The mediation role of shared representations in cooperative activities: new challenges.
- Burge, J., & Kiper, J. (2008). *Capturing Decisions and Rationale from Collaborative Design*. Paper presented at the Design Computing and Cognition'08.
- Burkhardt, J., Détienne, F., Hébert, A., Perron, L., Safin, S., & Leclercq, P. (2009). *An approach to assess the quality of collaboration in technology-mediated design situations*. Paper presented at the ECCE'09 - European Conference on Cognitive Ergonomics: Designing beyond the product - understanding activity and user experience in ubiquitous environments, Helsinki.
- Burkhardt, J., Détienne, F., Moutsingua-Mpaga, L., Perron, L., Safin, S., & Leclercq, P. (2008). *Conception architecturale collaborative avec un bureau augmenté: une étude exploratoire de l'effet de la distance et de la co-localisation*. Paper presented at the Ergonomie et Conception, Actes du 43e Congrès de la SELF, Ajaccio.

- Caelen, J. (2009). Conception Participative par “moments” : une gestion collaborative. *Le travail humain*, 72(1), 79-103.
- Cahour, B. (2002). Décalages socio-cognitifs en réunions de conception participative. *Le travail humain*, 65(4), 315-337.
- Calvary, G., Coutaz, J., Dâassi, O., Ganneau, V., Balme, L., Demeure, A., & Sottet, J. (2006). *Métamorphose des IHM et plasticité: article de synthèse*. ErgoIA'06 proceedings, 8.
- Candy, L. (1997). Computers and creativity support: knowledge, visualisation and collaboration. *Knowledge-Based Systems*, 10(1), 3-13.
- Caroly, S. (2007). Les mutations du travail face aux défis technologiques : quelles incidences sur la santé ? *Pistes*, 9(2). Retrieved from
- Casakin, H., & Goldschmidt, G. (1999). Expertise and the visual use of analogy: implications for design education. *Design Studies*, 20(2), 153-175.
- Casella, G., Costagliola, G., Deufemia, V., Martelli, M., & Mascardi, V. (2006). *An Agent-Based Framework for Context-Driven Interpretation of Symbols in Diagrammatic Sketches*. Paper presented at the Proceedings of the Visual Languages and Human-Centric Computing.
- Cham, J., & Yang, M. (2005). *Does Sketching Skill Relate to Good Design ?* Paper presented at the Proceedings of IDETC/CIE 2005, ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Long Beach.
- Chandelle, T. (2011). *Importation, manipulation et annotations d'objets à trois dimensions dans SketSha*. Bachelier en informatique de gestion SB, HELMO - Haute Ecole Libre Mosane, Liège.
- Cheutet, V., Léon, J., Catalano, C., Giannini, F., Monti, M., & Falcidieno, B. (2008). Preserving car stylists' design intent through an ontology. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2(1), 9-16.
- Chevalier, A. (2009). Les activités de conception: créativité, coopération, assistance. *Le travail humain*, 72(1), 1-4.
- Ciblac, T. (2011). *Parametric Design with Standard Elements for non-Standard Architecture*. Paper presented at the CAAD Futures 2011 - Proceedings of the 14th international conference on Computer Aided Architectural Design, Liège, Belgium.
- Company, P., Piquer, A., & Contero, M. (2004). *On the Evolution of Geometrical Reconstruction as a Core Technology to Sketch-Based Modeling*. Paper presented at the Eurographics Proceedings of the Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling.
- Cox, G. (2005). Cox review of creativity in business: building on the UK's strengths: HM Treasury.
- Coyette, A., Faulkner, S., Kolp, M., Limbourg, Q., & Vanderdonk, J. (2004). *SKetchiXML: Towards a multi-agent design tool for sketching user interfaces based on USIXML*. Paper presented at the Proceedings of the 4th International Workshop on task models and diagrams for user interface design TAMODIA 2004, Prague.
- Cross, N. (1984). *Developments in design methodology*.

- Cross, N. (2000). *Strategies for Product Design, Third Edition*: The open University, Milton Keynes.
- Cross, N., Christiaans, H., & Dorst, K. (1996). *Analysing design activity*, Wiley.
- Dameron, S. (2002). La dynamique relationnelle au sein d'équipes de conception. *Le travail humain*, 65(4), 339-361.
- Danesi, F., Gardan, Y., Martin, B., & Pecci, I. (1999). L'esquisse, définition et utilisation en conception 3D. [www-valoria.univ-ubs.fr](http://www-valoria.univ-ubs.fr).
- Darses, F. (1994). *Gestion de contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. PhD, Université Paris 8, Saint Denis.
- Darses, F. (2001). *Converger vers une solution en situation coopérative de conception: analyse cognitive du processus d'argumentation*. Paper presented at the Modéliser les activités coopératives de conception, Actes du 10ème Atelier du Travail Humain, Paris.
- Darses, F. (2004). Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception : contribution de la psychologie ergonomique *Document de synthèse en vue d'obtenir une Habilitation à Diriger des Recherches*. Paris: Université Paris V - René Descartes.
- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception - Synthèse. *Le travail humain*, 72(1), 43-59.
- Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2001). *Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique*. Paper presented at the Epique 2001 - Journées d'étude en Psychologie ergonomique, Nantes, France.
- Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2004a). Les activités de conception et leur assistance. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 545-563): PUF.
- Darses, F., Falzon, P., & Mondutéguy, C. (2004a). Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 191-212): PUF.
- Darses, F., Falzon, P., & Mondutéguy, C. (2004b). Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive des activités finalisées. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 191-212): PUF.
- Darses, F., Mayeur, A., Elsen, C., & Leclercq, P. (2008). *Is there anything to expect from 3D views in sketching support tools ?* Paper presented at the Design Computing and Cognition '08 : Proceedings of the Third International Conference on Design Computing and Cognition., J. Gero and A. Goel, Atlanta, USA Springer : 283-302.
- Darses, F., & Wolff, M. (2006). How do designers represent to themselves the users' needs? *Applied Ergonomics*, 37(6), 757-764.
- Daru, R. (1991). *Sketch as Sketch Can-Design Sketching with Imperfect Aids and Sketchpads of the Future*. Paper presented at the eCAADe 1991.
- Davis, R. (2002). *Sketch Understanding in Design: Overview of Work at the MIT AI Lab*. Paper presented at the AAAI Spring Symposium.
- Davis, R. (2007). Magic paper: Sketch-understanding research. *Computer*, 40(9), 34-+.
- de Bono, E. (1985). *Six Thinking Hats: An essential approach to business management*.: Little, Brown & Company.

- de Terssac, G., & Chabaud, C. (1990). Référentiel opératif commun. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.), *Les facteurs humains de la fiabilité* (pp. 111-139). Marseille: Octarès.
- Decortis, F., Noirfalise, S., & Saudelli, B. (2000). Activity theory, cognitive ergonomics and distributed cognition: three views of a transport company. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53(1), 5-33.
- Dejean, P. H., & Naël, M. (2004). Ergonomie du produit. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 463-477): PUF.
- Demeure, A. (2007). *Modèles et outils pour la conception et l'exécution d'Interfaces Homme-Machine Plastiques*. PhD, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Dessy, J. (2002). *De l'emploi des symboles dans les esquisses architecturales*. Université de Liège, Liège.
- Détienne, F., Boujut, J., & Hohmann, B. (2004). Characterization of collaborative design and interaction management activities in a distant engineering design situation. In F. Darses, R. Dieng, C. Simone & M. Zacklad (Eds.), *Cooperative systems design: scenario-based design of collaborative systems* (pp. 83-98): IOS Press.
- Détienne, F., & Burkhardt, J. (2001). Des aspects d'ergonomie cognitive dans la réutilisation en génie logiciel. *Revue techniques et sciences informatiques*, 20, 461-487.
- Do, E. (1995). *What's in a diagram that a computer should understand*. Paper presented at the CAAD Futures '05, Singapour.
- Do, E. (1996). *The Right Tool at the Right Time: drawing as an interface to knowledge based design aids*. Paper presented at the Proceedings of ACADIA 96 - Association for Computer Aided Design in Architecture, Tucson.
- Do, E. (2001). *VR sketchpad*. Paper presented at the CAAD Futures 2001, Eindhoven.
- Do, E., & Gross, M. (1997). *Inferring design intentions from sketches: an investigation of freehand drawing conventions in design*. Paper presented at the CAADRIA 1997, Taiwan.
- Do, E., Gross, M., Neimann, B., & Zimring, C. (2000). Intentions in and relations among design drawings. *Design Studies*, 21(5), 483-503.
- Dorst, K. (2008). Design research: a revolution-waiting-to-happen. *Design Studies*, 29(1), 4-11.
- Dorta, T., Lesage, A., & Pérez, E. (2009). *Design tools and collaborative ideation*. Paper presented at the CAAD Futures 2009, Montréal.
- Dorta, T., & Pérez, E. (2006). *Immersive Drafted Virtual Reality: a new approach for ideation within virtual reality*. Paper presented at the ACADIA 2006: Synthetic Landscapes - Digital Exchanges, Louisville, Kentucky.
- Dubberly, H., Baker, G., Reposar, R., Crane, A., Colman, E., Franus, N., & Yopez, C. (2004). *How do you design ? A Compendium of Models*.
- Edti. (2009). Edti - European Design Training incubator Internet - Surveys Retrieved september 2009
- Eggl, L., Bruderlin, B., & Elber, G. (1995). *Sketching as a solid modeling tool*. Paper presented at the Proceedings of the third ACM symposium on Solid modeling and applications, Salt Lake City, Utah, United States.

- Eissen, K., & Steur, R. (2008). *Sketching: drawing techniques for product designers*: Bis Pub.
- Elsen, C. (2009). *Extension et modulation des usages des outils médiateurs en design industriel. Impact sur les processus de conception*. Paris, Bordeaux, Conservatoire National des Arts et Métiers; Universités Paris 5; Paris 8 et Bordeaux 2. Master: 106+114.
- Elsen, C., Darses, F., & Leclercq, P. (2010). *An Anthro-based Standpoint on Mediating Objects: Evolution and Extension on Industrial Design Practices*. Paper presented at the Design Computing and Cognition, Stuttgart, Germany.
- Elsen, C., & Leclercq, P. (2008). "SketSha" – The Sketch Power to Support Collaborative Design. In Y. Luo (Ed.), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering* (Vol. 5220, pp. 20-27): Springer Berlin / Heidelberg.
- Estevez, D. (2001). *Dessin d'architecture et infographie, l'évaluation contemporaine des pratiques*. Paris: CNRS Editions.
- European Commission, C. S. (2009). *Commission staff working document: Design as a driver of user-centred innovation*. (SEC(2009)501). Brussels: Commission of the European Communities.
- Falzon, P., & Teiger, C. (1995). Construire l'activité - Séminaire DESUP/DESS de Paris I. *Performances Humaines et Techniques, Hors série (septembre)*, 34-39.
- Ferguson, E. (1992). *Engineering and the mind's eye*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fish, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the mind's eye: sketching and visual cognition. *Leonardo*, 23(1), 117-126.
- Folcher, V. (2003). Appropriating artifacts as instruments: when design-for-use meets design-in-use. *Interacting with Computers*, 15(5), 647-663.
- Folcher, V., & Rabarbel, P. (2004). Hommes-Artefacts-Activités : perspective instrumentale. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 251-268): PUF.
- Fu, Z., Zou, B., Chen, Y., & Wu, L. (2010). Reconstruction of intersecting curved solids from 2D orthographic views. *Computer-Aided Design*, 17.
- Gabriel, G., & Maher, M. (2002). Coding and modelling communication in architectural collaborative design. *Automation in construction*, 11(2), 199-211.
- Galle, P. (1989). Computer methods in architectural problem solving: Critique and proposals. *Journal of Architectural and Planning Research*, 6(1), 34-54.
- Gallina, J. (2006). *Les représentations mentales*: Dunod.
- Garner, S. (2000). *Is sketching still relevant in virtual design studios ?* Paper presented at the DCNet Conference.
- Garrigou, A., Daniellou, F., Carballeda, G., & Ruaud, S. (1995). Activity analysis in participatory design and analysis of participatory design activity. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(5), 311-327.
- Gennari, L., Kara, L., & Stahovich, T. (2004). *Combining geometry and domain knowledge to interpret hand-drawn diagrams*. Paper presented at the AAAI Fall Symposium Series 2004: Making Pen-based Interaction Intelligent and Natural.

- Gero, J., & Kazakov, V. (2003). *On measuring the visual complexity of 3D solid objects*. Paper presented at the e-Activities in Design and Design Education, Paris.
- Gero, J., & Kelly, N. (2005). *How to make CAD tools more useful to designers through re-representation*. Paper presented at the ANZASca.
- Gero, J. and Maher, M.-L. (1997). *A Framework For Research In Design Computing*. ECAADE. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary>
- Goel, V. (1995). *Sketches of Thought*. Cambridge: Bradford MIT Press.
- Goldschmidt, G. (1991). The Dialectics of Sketching. *Creativity Research Journal*, 4(2), 123-143.
- Goldschmidt, G. (1997). Capturing inderterminism: representation in the design problem space. *Design Studies* 18(4): 441-445.
- Good, J. (1996). *The right tool for the task: An investigation of external representations, program abstractions and task requirements*. Paper presented at the Empirical Studies of programmers: Sixth Workshop.
- Grégori, N., & Brassac, C. (2001). *La conception collaborative d'artefacts: activités cognitives en situation dialogique*. Paper presented at the Journées d'étude en psychologie ergonomique, Nantes.
- Gross, M. (1996). The Electronic Cocktail Napkin--a computational environment for working with design diagrams. *Design Studies*, 17(1), 53-69.
- Gross, M. (1999). *Drawing, seeing, and reasoning: the added value of computer aided architectural design*. Paper presented at the Proceedings of the Second Conference on Added Value of computer aided architectural design (AVOCAAD), Brussels.
- Grusenmeyer, C. (1995). *Interaction langagière et représentation mentale partagée. Une étude de la relève de poste*. Issy-les-Moulineaux, FRANCE: Elsevier Masson.
- Guéna, F., & Untersteller, L. (2006). *Towards a sketching tool for architect: 3D reconstruction of polyhedrons*. Paper presented at the Proceedings of the 24th eCAADe Conference on Communicating Space(s).
- Hahn, J., & Kim, J. (1999). *Why are some representations (sometimes) more effective?* Paper presented at the Proceedings of the 20th international conference on Information Systems, Charlotte, North Carolina, United States.
- Hammond, T., & Davis, R. (2005). LADDER, a sketching language for user interface developers. *Computers & Graphics*, 29(4), 518-532.
- Hanna, R., & Barber, T. (2001). An inquiry into computers in design: attitudes before-attitudes after. *Design Studies*, 22(3), 255-281.
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2009). C-K design theory: an advanced formulation. *Research in Engineering Design*(19), 181-192.
- Herot, C. (1976). *Graphical input through machine recognition of sketches*. Paper presented at the Proceedings of SIGGRAPH' 76.
- Hewett, T. (2005). Informing the design of computer-based environments to support creativity. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63, 383-409.



- Heylighen, A. and Martin, G. (2004). That elusive concept of concept in architecture - A final snapshot of concepts during design. *Design Computing and Cognition'04*. J. Gero. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 57-76.
- Hisarciklilar, O., & Boujut, J. (2008). *Symbolic vs. iconic: How to support argumentative design discourse with 3D product representations*. Paper presented at the IDMME - Virtual Concept 2008, Beijing - China.
- Hisarciklilar, O., & Boujut, J. (2009). An annotation model to reduce ambiguity in design communication. *Research in Engineering Design*, 20(3), 171-184.
- Houde, S. and Hill, C. (1997). What do prototypes prototype ? *Handbook of Human-Computer Interaction (2nd Ed.)*. M. Helander, T. Landauer and P. Prabhu. Amsterdam, Elsevier Science B. V: 16.
- Howard, T. J., Culley, S. J., & Dekoninck, E. (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2), 160-180.
- Huot, S. (2005). *Une nouvelle approche pour la conception créative: de l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard*. PhD, Ecole Nationale Supérieure des Techniques industrielles et des Mines de Nantes, Nantes.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge: MIT Press.
- Igarashi, T., Matsuoka, S., & Tanaka, H. (2007). *Teddy: a sketching interface for 3D freeform design*. Paper presented at the ACM SIGGRAPH 2007 courses, San Diego, California.
- Jeunejean, A. (2004). *Algorithme de tracé réaliste pour environnement de dessin virtuel*. Faculté des Sciences Appliquées. Liège, Université de Liège. Master Thesis.
- Johnson, G., Gross, M., Hong, J., & Yi-Luen Do, E. (2008). Computational support for sketching in design: a review. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 2(1), 1-93.
- Jonson, B. (2005). Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. *Design Studies*, 26(6), 613-624.
- Jozen, T., Wang, L., & Sasada, T. (1999). Sketch VRML-3D modeling of conception. *Architectural computing: from Turing to 2000*, 557-563.
- Juchmes, R. (2005). *Etude comparative des techniques temp réel d'interprétation de croquis*. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université de Liège, Liège :99.
- Jung, T., Gross, M. D., & Do, E. Y. (2003). *Light pen - sketching light in 3d*. Paper presented at the Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures, Taiwan.
- Kanai, S. (2005). *Human-computer interactions for digital styling design - A difficult road toward bridging the gap between concepts and 3D models*. Paper presented at the Proceedings of Virtual Concept 2005, Biarritz.
- Kanai, S. (2008). Content-based 3D mesh model retrieval from hand-written sketch. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 2(2), 87-98.

- Kara, L., D'Eramo, C., & Shimada, K. (2006). *Pen-based styling design of 3D geometry using concept sketches and template models*. Paper presented at the SPM '06: Proceedings of the 2006 ACM Symposium on Solid and Physical Modeling, New-York, USA.
- Kara, L., Shimada, K., & Marmalefsky, S. D. (2007). An evaluation of user experience with a sketch-based 3D Modeling System. *Computer & Graphics*, 31(4), 580-597.
- Karpenko, O., Hughes, J., & Raskar, R. (2004). *Epipolar methods for multi-view sketching*. Paper presented at the Eurographics Workshop in Sketch-Based Interfaces and Modeling.
- Kavakli, M., Scrivener, S., & Ball, L. (1998). Structure in idea sketching behaviour. *Design Studies*, 19(4), 485-518.
- Kokotovich, V., & Purcell, A. T. (2000). Mental synthesis and creativity in design: an experimental examination. *Design Studies*, 21, 437-449.
- Kolarevic, B. (2000). *Digital architectures*. Paper presented at the Proceedings of ACADIA 2000: Eternity, Infinity and Virtuality, Washington.
- Landay, J. A., & Myers, B. (1995). *Interactive sketching for the early stages of user interface design*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, Denver, Colorado, United States.
- Laurent, S. (Ed.). (1999). *Chronologie du design*. Paris: Flammarion.
- Lawson, B. (2004). *What designers know*. Elsevier.
- Lebahar, J. (1983). *Le dessin d'architecte*. Marseille: Eds Parenthèses.
- Lebahar, J. (2007). *La conception en design industriel et en architecture: Désir, pertinence, coopération et cognition*. Eds Lavoisier.
- Leclercq, P. (1994). *Environnement de conception architecturale préintégré – Elements d'une plateforme d'assistance basée sur une représentation sémantique*. PhD, University of Liège.
- Leclercq, P. (1996). *Environnement de conception architecturale préintégré – Elements d'une plateforme d'assistance basée sur une représentation sémantique*. PhD, University of Liège.
- Leclercq, P. (2005). Le concept d'esquisse augmentée. *Proceedings of SCAN 2005, Séminaire de Conception Architecturale Numérique*, 16.
- Leclercq, P., & Elsen, C. (2007). *Le croquis synthé-numérique*. Paper presented at the SCAN 2007, Séminaire de Conception Architecturale Numérique : Apports de l'image numérique en conception., Paris, France.
- Leclercq, P., & Juchmes, R. (2002). The absent interface in design engineering. *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, 16(3), 219-227.
- Lee, S., Feng, D., Grimm, C., & Gooch, B. (2008). *A sketch-based user interface for reconstructing architectural drawings*. Paper presented at the Computer Graphics forum.
- Leplat, J. (1991). Activité collective et nouvelles technologies. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 4(3/4), 335-356.
- Leplat, J. (2000). *Analyse psychologique de l'activité en ergonomie - Aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*.: Eds Octarès.

- Lieberman, H. (1993). *Graphical Annotation as a Visual Language for Specify Constraint Relations*. Paper presented at the IEEE Symposium on Visual Languages, Bergen, Norway.
- Lieberman, H., & Liu, H. (2006). Adaptive Linking between Text and Photos Using Common Sense Reasoning. *Lecture Notes in Computer Science - Adaptive hypermedia and adaptive web-based systems*, 2347/2006, 2-11.
- Lim, C. (2003). *An insight into the freedom of using a pen: Pen-based system and pen-and-paper*. Paper presented at the ACADIA 2003 - 22nd ACADIA Conference: Connecting Crossroads of digital discourse.
- Lim, S., Prats, M., Chase, S., & Garner, S. (2008). *Sketching in design: Formalising a transformational process*. Paper presented at the Computer Aided Architectural Design and Research in Asia (CAADRIA'08), , Chiang Mai, Thailand.
- Lipson, H., & Shpitalni, M. (1996). Optimization-based reconstruction of a 3D object from a single freehand line drawing. *Computer-Aided Design*, 28(8), 651-663.
- Lipson, H., & Shpitalni, M. (2007). *Correlation-based reconstruction of a 3D object from a single freehand sketch*. Paper presented at the SIGGRAPH 2007.
- Matlin, M. (1998). *La cognition: une introduction à la psychologie cognitive*. De Boek Université.
- Mayeur, A. (2006). *Place des représentations spatiales en conception architecturale - Apports et limites d'un logiciel d'aide à l'esquisse*. Master, Conservatoire National des Arts et Métiers, Université René Descartes Paris 5, Université Bordeaux 2, Université Paris 8, Paris.
- McCall, R., Ekaterini, V., & Joshua, Z. (2001). *Conceptual design as hypersketching*. Paper presented at the CAAD Futures'01, Kluwers, Doordrecht.
- McGown, A., Green, G., & Rodgers, P. A. (1998). Visible ideas: information patterns of conceptual sketch activity. *Design Studies*, 19(4), 431-453.
- Meyer, J., & Bederson, B. (1998). Does a sketchy appearance influence drawing behavior *HCIL Technical Report* (Vol. No. 98-12).
- Midler, C. (1996). Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et Conception* (pp. 63-86). Toulouse: Octarès.
- Mitani, J., Suzuki, H., & Kimura, F. (2000). *3D sketch: Sketch-based model reconstruction and rendering*. Paper presented at the IFIP Workshop Series on Geometric Modeling: Fundamentals and Applications, Parma, Italy.
- Mitchell, W. J., Inouye, A. S., & Blumenthal, M. S. (2003). *Beyond Productivity: Information, Technology, Innovation, and Creativity*: National Academy Press.
- Mollo, V. and Falzon, P. (2004). Auto-and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics* 35(6): 531-540.
- Motte, D., & Björnemo, R. (2004). *The Cognitive Aspects of the Engineering Design Activity - A Literature Survey*. Paper presented at the Proceedings of the TMCE 2004, Lausanne.
- Navarro, C. (1991). Une analyse cognitive de l'interaction dans les activités de travail. *Le travail humain*, 54(2), 113-128.

- Nealen, A., Sorkine, O., Alexa, M., & Cohen-Or, D. (2007). *A sketch-based interface for detail-preserving mesh editing*. Paper presented at the ACM SIGGRAPH'07 Courses Proceedings, San Diego, California.
- Nijs, G., Vermeersch, P., Devlieger, P., & Heylighen, A. (2010). *Extending the dialogue between design(ers) and disabled use(rs): from conversation to embodied skill*. Paper presented at the International Design Conference - Design 2010, Dubrovnik.
- Norman, D. A. (1993). *The design of everyday things*. NY: Basic Books (Perseus).
- Norman, D. A. (2010). *The Research-Practice Gap*. from [http://jnd.org/dn.mss/the\\_research-practice\\_gap\\_1.html](http://jnd.org/dn.mss/the_research-practice_gap_1.html).
- Norman, D. A. (2010). Technology first, needs last: the research-product gulf. *Interactions*, 17(2 (March -April)), 38-42.
- Olsen, L., Samavati, F., Sousa, M., & Jorge, J. (2005). *Sketch-based mesh augmentation*. Paper presented at the SBIM '05: Proceedings of the 2nd eurographics workshop on sketch-based interfaces and modeling.
- Olsen, L., Samavati, F., Sousa, M., & Jorge, J.(2009). Sketch-based modeling: A survey. *Computers & Graphics*, 33(1), 85-103.
- Perry, M., & Sanderson, D. (1998). Coordinating joint design work: the role of communication and artefacts. *Design Studies*, 19(3), 273-288.
- Pignocchi, A. (2010). How the intentions of the draftsman shape perception of a drawing. *Consciousness and Cognition*, 19(4), 887-898.
- Piquer, A., Martin, R., & Company, P. (2004). Skewed Mirror Symmetry for Depth Estimation in 3D Line-Drawings. *Graphics Recognition*, 142-153.
- Prats, M., Lim, S., Jowers, I., Garner, S. W., & Chase, S. (2009). Transforming shape in design: observations from studies of sketching. *Design Studies*, 30(5), 503-520.
- Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology. *Design Studies*, 19(4), 389-430.
- Quarante, D. (2001). *Elements de design industriel. Troisième édition*. France: Eds Polytechnica.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.
- Rabardel, P., & Bourmaud, G. (2003). From computer to instrument system: a developmental perspective. *Interacting with Computers*, 15(5), 665-691.
- Rajan, P., & Hammond, T. (2008). *From paper to machine: extracting strokes from images for use in sketch recognition*. Paper presented at the EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling.
- Rasmussen, J. (1990). *Mental models and the control of action in complex environments*. Paper presented at the Selected papers of the 6th Interdisciplinary Workshop on Informatics and Psychology: Mental Models and Human-Computer Interaction 1.
- Robertson, B. F., & Radcliffe, D. F. (2009). Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design. *Computer-Aided Design*, 41(3), 136-146.

- Robinson, M., & Bannon, L. (1991). *Questioning representations*. Paper presented at the Proceedings of the Second European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, Amsterdam, The Netherlands.
- Robillard, P., d'Astous, P., Détienne, F., Visser, W. (1998). *Measuring cognitive activities in software engineering*. ICSE98, 20th International Conference on Software Engineering, Kyoto, Japan, IEEE.
- Rodgers, P. A., Green, G., & McGown, A. (2000). Using concept sketches to track design progress. *Design Studies*, 21(5), 451-464.
- Safin, S., Juchmes, R., et Leclercq, P. (in press). 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*.
- Sahmoune, M. (2011). *Conception du Cockpit: une application Grails d'aide au suivi de projets*. Bachelier en informatique de gestion SB, HELMO - Haute Ecole Libre Mosane, Liège.
- Salman, H., Laing, R., & Conniff, A. (2008). The Changing Role of CAAD in the Architectural Design Studio. *The Built and Human Environment Review*, 1, 25-39.
- Samuel, A., & Weir, J. (1999). *Introduction to engineering design. Modelling, Synthesis and Problem Solving Strategies*. UK: Eds Butterworth Heinemann.
- Saund, E. (2003). Finding perceptually closed paths in sketches and drawings. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 25(4), 475-491.
- Saund, E., & Moran, T. (1994). *A perceptually-supported sketch editor*. Paper presented at the Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology, Marina del Rey, California, United States.
- Scaife, M., & Rogers, Y. (1996). External cognition: how do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(2), 185-213.
- Schenk, P. (1991). The role of drawing in the graphic design process. *Design Studies*, 12(3), 168-181.
- Schenk, P. (2005). Before and After the Computer: The Role of Drawing in Graphic Design. *visual: design: scholarship The Research Journal of the Australian Graphic Design Association*, 1(2), 11-20.
- Schenk, P. (2007). *Developing a taxonomy on drawing for design*. Paper presented at the Proceedings of the International Association of Societies of Design Research IASDR07, Hong Kong
- Schmidt, R., Wyvill, B., Sousa, M., & Jorge, J. (2005). *ShapeShop: Sketch-Based Solid Modeling with BlobTrees*. Paper presented at the Eurographics Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner : how professionals think in action*. NY: Basic Books.
- Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135-156.
- Schütze, M., Sachse, P., & Römer, A. (2003). Support value of sketching in the design process. *Research in Engineering Design*, 14, 89-97.

- Scrivener, S. and Palmen, H. (1991). *An analysis of face-to-face drawing activity*. Proceedings of the 4th national conference on Design Technology and Education (DATER 91), UK.
- Self, J., Dalke, H., & Evans, M. (2009). *Industrial Design Tools and Design Practice - An approach for understanding relationships between design tools and practice*. Paper presented at the iasdr2009.
- Séquin, C. H. (2005). CAD tools for aesthetic engineering. *Computer-Aided Design*, 37(7), 737-750.
- Shesh, A., & Chen, B. (2004). *SMARTPAPER: An Interactive and User Friendly Sketching System*. Paper presented at the Eurographics 2004.
- Smith, D., & Tardif, M. (2009). *Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*: John Wiley & Sons Inc.
- Söderström, O., & Zepf, M. (1998). L'image négociée. *Disp*, 134, 12-19.
- Song, S., & Agonino, A. (2004). *Insights on designers' sketching activities in new product design team*. Paper presented at the DETC'04 ASME 2004 Design Engineering Technical Conference and Computers and Information in Engineering Conference, Salt Lake City, Utah, USA.
- Sottet, J., Calvary, G., & Favre, J. (2005). *Ingénierie de l'Interaction Homme-Machine Dirigée par les Modèles*. Paper presented at the IDM'05 Premières Journées sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles, Paris.
- Sottet, J., Calvary, G., Favre, J., & Coutaz, J. (2006). *IHM & IDM: Un tandem prometteur*. Paper presented at the Poster, Ergo'IA.
- Stacey, M., Eckert, C., & McFadzean, J. (1999). Sketch Interpretation in design communication. International Conference on Engineering Design ICED 99, Munich - Germany.
- Stones, C., & Cassidy, T. (2007). Comparing synthesis strategies of novice graphic designers using digital and traditional design tools. *Design Studies*, 28(1), 59-72.
- Sutherland, I. (1963). *SketchPad: a man-machine graphical communication system*. Paper presented at the Spring Joint Computer Conference.
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, A. T. (2000). Unexpected discoveries and S-inventions of design requirements: important vehicles for a design process. *Design Studies*, 21(6), 539-567.
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483.
- Suwa, M., & Tversky, B. (1996). *What architects see in their sketches: implications for design tools*. Paper presented at the CHI'96 - Electronic Proceedings.
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403.
- Teller, J. (2001). *La régulation morphologique dans le cadre du projet urbain. Spécification d'instruments informatiques destinés à supporter les modes de régulation performantiels*. Docteur en Sciences Appliquées, Université de Liège, Liège.
- Thu, V. (2008). *Implémentation de prototypes de widgets pour la navigation au stylet dans des scènes 2D et 3D*. Master en Sciences Informatiques MS, Facultés Universitaires de Namur, Namur.

- Tian, C., Masry, M., & Lipson, H. (2009). Physical sketching: Reconstruction and analysis of 3D objects from freehand sketches. *Computer-Aided Design*, 41(3), 147-158.
- Tovey, M. (1989). Drawing and CAD in industrial design. *Design Studies*, 10(1), 24-39.
- Tovey, M., & Richards, C. (2004). *Computer representation for concept design and maintenance instruction*. Paper presented at the TMCE 2004, Lausanne.
- Troussier, J. F. (1990). Evolution des collectifs du travail et qualification collective. *Les Analyses du travail, CEREQ*, 115-124.
- Tversky, B. (2002). *What do Sketches say about Thinking*. Paper presented at the Proceedings of the 2002 AAAI Spring Symposium.
- Ullman, D. G., Wood, S., & Craig, D. (1990). The importance of drawing in the mechanical design process. *Computers & Graphics*, 14(2), 263-274.
- United Kingdom Design Council, C. s. (2008). *The Good Design Plan*.
- Van de Vreken, A. (2008). *Perception et représentation de l'espace architectural*. Master, Université de Liège, Liège.
- van der Lugt, R. (2005). How sketching can affect the idea generation process in design group meetings. *Design Studies*, 26(2), 101-122.
- van Leeuwen, J., Peralta, L., & Sampaio, P. (2008). *Stimulating Collaborative Behaviour in Design Education*. Paper presented at the 14th international conference on concurrent enterprising - ICE 2008 - 1st Workshop on IT-supported cooperative design in education, Lisboa.
- Verdonck, E., Weytjens, L., Verbeeck, G., & Froyen, H. (2011). *Design Support Tools in Practice. The Architects' Perspective*. Paper presented at the CAAD Futures 2011: Designing Together, University of Liège.
- Vicente, K. J., & Rasmussen, J. (1990). The Ecology of Human-Machine Systems II: Mediating 'Direct Perception' in Complex Work Domains. *Ecological Psychology*, 2(3), 207 - 249.
- Vinck, D., & Laureillard, P. (1996). *Coordination par les objets dans les processus de conception*. Paper presented at the Journée CSI - "Représenter, coordonner, attribuer".
- Visser, W. (1996). Two functions of analogical reasoning in design: a cognitive-psychology approach. *Design Studies*, 17(4), 417-434.
- Visser, W. (2006). *The cognitive Artifacts of designing*. London: Eds Lawrence Erlbaum.
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le travail humain*, 72(1), 61-78.
- Visser, W., & Trousse, B. (1993). *Reuse of designs : an interdisciplinary cognitive approach*. Paper presented at the Thirteenth international joint conference on artificial intelligence workshop.
- Wang, H., Zhang, J., Li, S., & Wang, Y. (2004). Shape and texture preserved non-photorealistic rendering. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 15, 453-461.
- Weytjens, L., Verdonck, E., & Verbeeck, G. (2009). Classification and Use of Design Tools: The Roles of Tools in the Architectural Design Process. *Design - Principles and Practices - An International Journal*, 3(1), 289-302.

- Wolff, M., Burkhardt, J., & de la Garza, C. (2005). Analyse exploratoire de “points de vue” : une contribution pour outiller les processus de conception. *Le travail humain*, 68(3), 253-286.
- Wuersch, M., & Egenhofer, M. (2008). Perceptual sketch interpretation. *Headway in Spatial Data Handling*, 19-38.
- Xu, X., Liu, W., Jin, X., & Sun, Z. (2002). *Sketch-based user interface for creative tasks*. Paper presented at the Proceedings of the 5th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction, Beijing.
- Yang, M. and Epstein, D. (2005). A study of prototypes, design activity, and design outcome. *Design Studies* 26(6): 649-669.
- Zacklad, M., Lewkowicz, J. F., Darses, F., & Détienné, F. (2003). *Formes et gestion des annotations numériques collectives en ingénierie collaborative*. Paper presented at the Actes d'IC 03, Laval.
- Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87-122.