



Modélisation et computation des processus cognitifs et informationnels en conception amont : une investigation chez les designers et les concepteurs.

Carole Bouchard

► To cite this version:

Carole Bouchard. Modélisation et computation des processus cognitifs et informationnels en conception amont : une investigation chez les designers et les concepteurs.. Mécanique [physics.med-ph]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2010. Français. NNT : . pastel-00610595

HAL Id: pastel-00610595

<https://pastel.hal.science/pastel-00610595>

Submitted on 22 Jul 2011

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

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

MODELISATION ET COMPUTATION DES PROCESSUS COGNITIFS ET INFORMATIONNELS EN CONCEPTION AMONT

Une investigation chez
les designers et les concepteurs.

*Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches
de l'Institut National Polytechnique de Grenoble
Soutenue le 9.7.2010 à Paris devant le jury:*

RAPPORTEURS

S. TICHKIEWITCH, Professeur à l'I.N.P. de Grenoble
J.C. BOCQUET, Professeur à l'E.C. Paris
A. FINDELI, Professeur à l'Université de Nîmes

EXAMINATEURS

A. AOUSSAT, Professeur à AMP Paris
B. BOUCHON MEUNIER, Directrice Recherche CNRS à l'UPMC Paris 6
N. BONNARDEL, Professeure à l'Université d'Aix-en Provence

Carole Bouchard
Maître de conférences
Arts et Métiers paristech
Laboratoire Conception de Produits et Innovation

Remerciements

Je tiens à remercier très vivement Monsieur le Professeur Serge TICHKIEWITCH de l'I.N.P. de Grenoble, Monsieur le Professeur J.C. BOCQUET de l'E.C. Paris, et Monsieur le Professeur A. FINDELI de l'Université de Nîmes, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce jury. Merci également aux examinateurs qui m'ont fait l'immense plaisir de faire partie de ce jury, Monsieur Améziane AOUSSAT du LCPI, Madame Bernadette BOUCHON-MEUNIER du LIP6 UPMC et Madame Nathalie BONNARDEL de l'UNIVERSITE DE PROVENCE.

TABLE DES MATIERES

Préambule

1. INTRODUCTION GENERALE	p6
1.1 Introduction	
1.2 Positionnement des travaux	
2. GENESE DE LA RECHERCHE : MODELISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION AMONT	p15
2.1 Introduction	
2.2 Intérêt de l'approche de modélisation des activités cognitives en conception amont	
2.3 Formalisation du processus de conception amont	
2.4 Modélisation de la dimension perçue en conception	
2.5 Modélisation théorique du processus de conception amont	
2.6 Vers la formalisation d'un outil de veille	
2.7 Conclusion	
3. SYNTHESE DE LA RECHERCHE	p26
3.1 Introduction	
3.2 Formalisation globale du processus de conception amont	
3.3 Formalisation de la phase d'information	
3.4 Computation de la phase d'information	
3.5 Formalisation de la phase de génération	
3.6 Computation de la phase de génération	
3.7 Formalisation de la phase d'évaluation	
3.8 Computation de la phase d'évaluation	
3.9 Vers un méta-modèle d'ingénierie Kansei	
3.10 Bilan	
3.11 Production scientifique	
4. CONTENU DETAILLE DE LA RECHERCHE	p44
4.1 Introduction	
4.2 Formalisation et computation de la phase d'information	p46
4.2.1 Formalisation de la Phase d'information	
4.2.2 Computation de la Phase d'information	
4.3 Formalisation et computation de la phase de génération	p64
4.3.1 Formalisation de la Phase d'information	
4.3.2 Computation de la Phase d'information	
4.4 Formalisation et computation de la phase d'évaluation	p85
4.4.1 Formalisation de la Phase d'évaluation	
4.4.2 Computation de la Phase d'évaluation	
4.5 Formalisation de la phase de matérialisation	p105
4.6 Formalisation et computation du processus de conception amont : vers un méta-modèle computationnel d'ingénierie Kansei	p113
4.6.1 Introduction	
4.6.2 Formalisation du lien réciproque entre les phases de génération et d'évaluation	
4.6.3 Vers un méta-modèle computationnel	
5. PERSPECTIVES	p123

Préambule

Ce mémoire décrit l'ensemble de mes activités professionnelles réalisées au Laboratoire Conception de produits et Innovation d'Arts et Métiers Paristech (LCPI-EA3927) durant ces dix dernières années. Il présente mes activités de recherche passées, actuelles et futures, qui s'inscrivent dans le projet scientifique du laboratoire CPI. Ce projet vise à définir et à développer un modèle computationnel du processus de conception et d'innovation, qui se concrétisera par des systèmes numériques d'aide à la conception (AAC) pouvant toucher à pposteriori l'ensemble des phases de cycle de vie d'un produit.

La recherche présentée ici porte plus particulièrement sur les phases amont du processus, ce qui en constitue l'originalité. Les phases amont de la conception, qui correspondent à l'analyse du besoin suivie de la génération de concepts, font intervenir différents métiers qui interviennent dans un contexte d'ingénierie concourante tels que ceux du design, de l'ergonomie cognitive ou du marketing. La frontière entre ces métiers devient de plus en plus floue et bon nombre des représentations utilisées lors des phases collectives se veulent compréhensibles par tous. La computation vise alors ici à simuler et enrichir des règles métiers appliquées à des modèles de données caractérisant la connaissance et l'expertise impliquées dans ces phases.

Ce mémoire a été structuré en quatre sections:

- 1. Genèse de la recherche**, qui présente le modèle théorique que nous avons défini initialement et qui a structuré notre recherche ;
- 2. Synthèse de la recherche**, qui synthétise l'historique des travaux menés et retrace la construction de la recherche ;
- 3. Contenu détaillé de la recherche**, qui détaille les travaux de recherche réalisés antérieurement autour de la modélisation informationnelle et de la computation en conception amont ;
- 4. Projet de recherche**, qui présente une synthèse des résultats de recherche et les perspectives entrevues à ce jour.

GLOSSAIRE

AAC : Aide A la Conception.

ATC : Analyse de Tendances Conjointe.

BDD : Base De Données

CDC : CDC, brief en Anglais, cahier des charges en Français, définit l'espace problème en termes d'objectifs et de contraintes.

CSCW : Computer Supported Collaborative Work.

IA : Intelligence artificielle.

MLT : Mémoire Long Terme.

MT : Mémoire de Travail.

NTIC : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

RI : Représentations intermédiaires.

REX : Retour d'expérience.

RV : Réalité virtuelle.

SAO : Style Assisté par ordinateur.

SI : Système d'information.

TCAO : Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur.

Introduction générale

Modélisation et computation des processus cognitifs et informationnels en conception amont.

1

1.1 Introduction

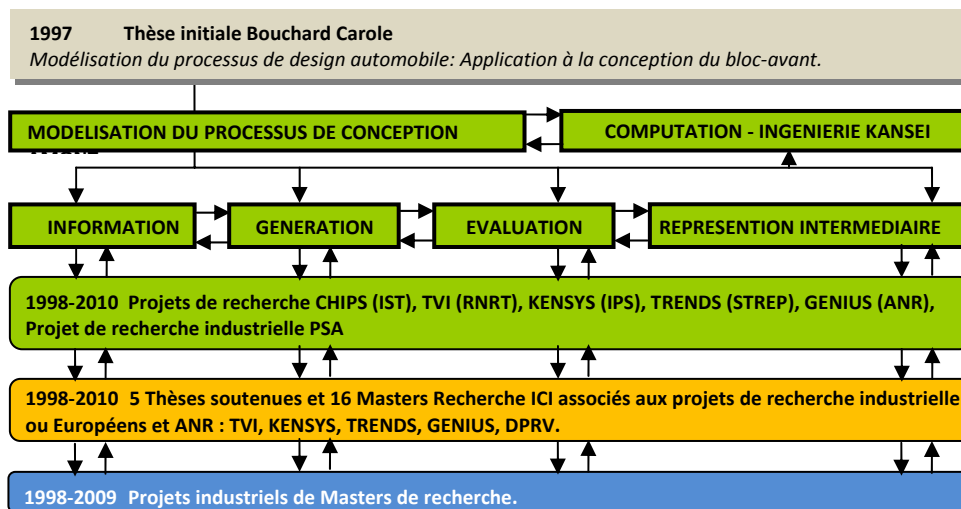


Figure 1: Historique de la recherche thématique: « Modélisation et numérisation des processus informationnels en conception amont - Processus cognitifs design - Ingénierie Kansei »

Ma recherche vise à *modéliser et numériser (computer) les processus cognitifs et informationnels mis en œuvre par les designers en amont du processus de conception* (voir figure 1). La finalité est la conception et le développement de nouveaux outils d'aide à la conception (AAC) pour supporter les phases d'information, de génération, d'évaluation et de matérialisation de solutions. Cette recherche se structure en deux étapes successives de *formalisation* et de *computation* visant toutes deux à optimiser le processus de conception et d'innovation. L'étape de *formalisation* s'est basée sur l'explicitation et la formalisation d'informations, données et règles expertes design jusqu'alors implicites. L'étape de *numérisation* ou *computation* vise la traduction et l'automatisation partielle des règles par l'élaboration de formalismes et algorithmes appropriés suite à l'identification de routines inhérentes aux processus métiers. Ces règles sont exprimées et structurées selon des formalismes facilement implémentables par des algorithmes qui viennent les relayer. Ma recherche réside principalement dans l'élaboration de formalismes appropriés. Les types d'informations utilisés par les designers comprennent des informations dites de haut-niveau (valeurs sociologiques, descripteurs sémantiques), moyen-niveau (noms de secteurs, concepts) ou bas-niveau (couleurs, formes, textures, ...). Les règles expertes en design industriel ont pour particularité de pouvoir relier ces informations de type hétérogènes. Les algorithmes utilisés se basent à la fois sur des approches statistiques (analyse factorielle, analyse des régressions) ou celles issues du domaine de l'apprentissage automatique en intelligence artificielle (clustering, ontologies, algorithmes génétiques, ensembles flous...).

La thématique de recherche que je développe a été initiée dans le cadre de ma thèse intitulée *Modélisation du processus de design automobile- Méthode de veille appliquée au design du composant d'aspect*, soutenue en 1997. Cette thèse a eu pour objet la formalisation d'un modèle de processus défini à partir d'une analyse de l'activité cognitive des designers. Outre le modèle, trois apports de cette thèse ont structuré les orientations qui ont suivi: (1) l'apport de l'approche de modélisation des activités cognitives pour formaliser les processus informationnels en conception amont (design), (2) la modélisation du processus de conception vu comme un processus informationnel qui intègre plusieurs phases interreliées (génération, évaluation, matérialisation de RI et décision), et (3) la formalisation de la dimension perçue sémantique et émotionnelle au sein des processus informationnels plus ou moins conscients et explicites mis en œuvre par les designers ou perçus par les consommateurs.

Par la suite, j'ai pu développer ma recherche dans le cadre de projets supports (voir figure 2) avec la contribution d'étudiants en thèse ou en Master Recherche en Ingénierie, Conception et Innovation (MRICI). Durant ces dix dernières années, nous avons été acteurs ou leaders dans des projets nationaux ou européens tels que les projets CHIPS : Consumer Hybrid Products and Services, TVI : Télévision Interactive (1 thèse), KENSYS : Kansei ENgineering SYstem (1MRICI, 1 thèse), TRENDS : TRends ENabler for Design Specifications (2MRICI, 1 thèse) et GENIUS : GENeration Innovation User-centred System (2MRICI, 1 thèse). Les livrables de ces projets sont majoritairement des démonstrateurs logiciels dédiés aux équipes de conception. La validation industrielle de ma recherche est réalisée dans le cadre de projets MRICI. Si l'on devait positionner l'ensemble du travail vis-à-vis des thématiques de recherches actuelles, on pourrait citer en premier lieu les théories du Kansei et le design d'expérience comme champs privilégiés de notre recherche. De 2006 à ce jour, ont été traités des sujets sur la créativité, l'innovation et l'ingénierie Kansei avec des grands groupes industriels de l'automobile et de l'énergie, et sur l'évaluation de la dimension qualité perçue, sémantique, sensorielle ou émotionnelle avec essentiellement dans les secteurs de la cosmétique et des équipements automobiles.

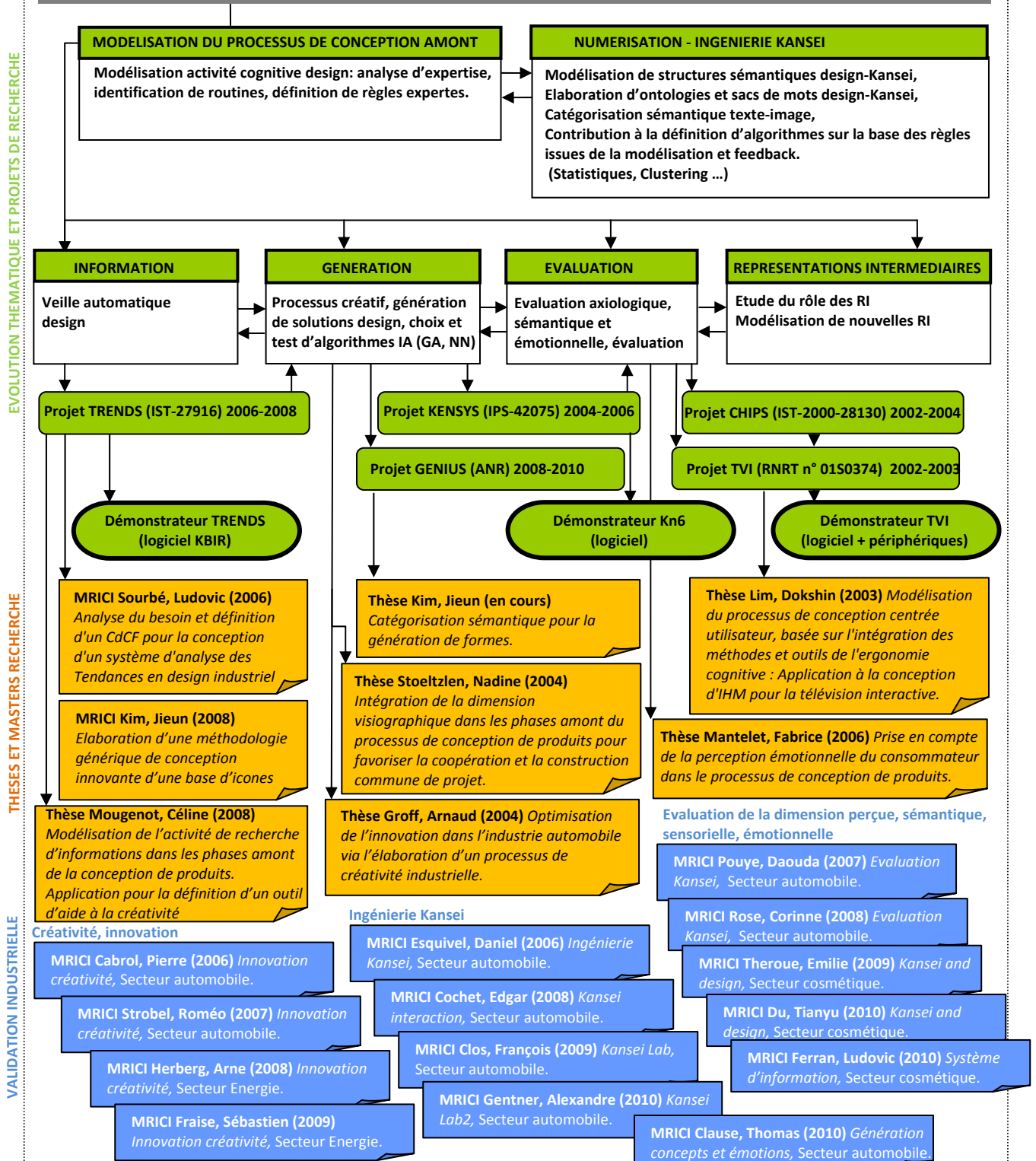


Figure 2: Organisation de la recherche thématique: « Modélisation et numérisation des processus informationnels en conception amont - Processus cognitifs design - Ingénierie Kansei »

1.2 Positionnement des travaux de recherche

1.2.1 Introduction

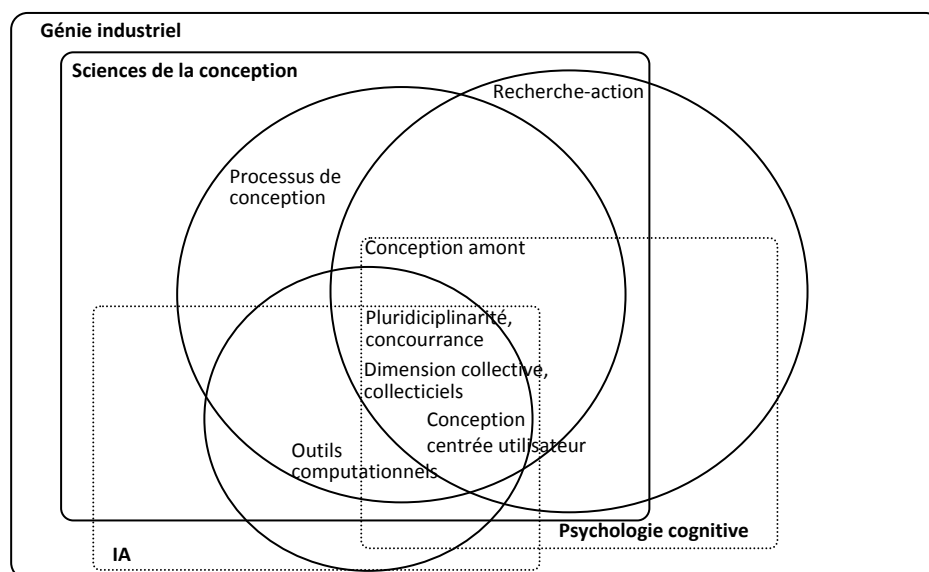


Figure 3: Positionnement scientifique

La modélisation et la computation des activités de conception constituent un enjeu majeur en sciences de la conception. Cet enjeu provient d'un contexte industriel fortement concurrentiel et de la mondialisation des marchés. Les concepteurs doivent proposer des solutions toujours plus variées et personnalisées, dans des délais toujours plus courts. La dimension innovante de ces solutions constitue une condition de survie pour les entreprises. La modélisation et la computation des activités de conception intéressent aujourd'hui d'autres disciplines qui apportent leur propre éclairage comme la psychologie cognitive pour aider dans la modélisation de l'activité des concepteurs, ou l'intelligence artificielle qui apporte une contribution dans la computation des modèles (voir figure 3). La recherche scientifique dans ces trois disciplines offre des points de vue complémentaires et fondateurs d'avancées de recherche relatives aux modèles et outils numériques d'AAC. Les chercheurs en sciences de la conception apportent eux-mêmes une méta-vision sur leur activité et formalisent des données et processus parfois difficiles à appréhender par un observateur externe au projet de conception. C'est donc plus dans un cadre de recherche-action qu'ils apportent leur contribution en rendant explicites des dimensions tacites, guidés à la fois par l'intuition et par leur propre besoin.

Notre recherche se positionne en génie industriel et plus précisément en sciences de la conception. Elle combine *recherche-action* et *approche expérimentale de laboratoire*. La première s'appuie sur les représentations explicites utilisées ou produites par les concepteurs lors des projets de conception menés en contexte industriel. Une limite à cela est qu'une grande partie de l'activité des concepteurs est implicite dans les phases amont. La méthode *think-aloud* permet de pallier à ce point en faisant verbaliser à voix haute les concepteurs pendant la conception, avec le risque cependant de modifier l'activité. L'approche la plus répandue en psychologie cognitive est basée sur l'analyse de protocoles, qui ne prend cependant pas en compte le contexte de conception ainsi que des dimensions importantes de l'activité telles que la maturation des idées ou les contraintes réelles d'un projet. Une troisième façon d'aborder les activités de design s'appuie plus sur des approches de type ethnographiques, qui présentent l'avantage de pouvoir observer les fonctionnements cognitifs des concepteurs en contexte réel. Cependant, comme dans le premier cas, une grande partie de l'activité est implicite.

Compte tenu de la difficulté à recueillir les données, nous préconisons le croisement de ces trois approches. Trois évolutions majeures ont eu un impact important sur la modélisation et la computation des activités de conception: l'intégration de l'ingénierie concourante et de la conception collaborative, l'intégration de l'utilisateur comme acteur (expérience, émotions), et la numérisation graduelle des phases amont de la conception.

Même si le cœur de notre production se situe en *sciences de la conception, ingénierie et design*, notre recherche s'appuie sur une approche pluri-disciplinaire qui s'intéresse aussi aux domaines de la *psychologie cognitive* et de l'*intelligence artificielle* (IA). A titre d'exemples, voici quelques revues et conférences dans lesquelles nous avons publié: International Journal of Vehicle Design, International Journal of Engineering Design, International Journal of Product Development, Journal of Design Research, International Conference of Engineering Design, Behaviour and Information, Culture Creativity and Interaction Design, Design Computing and Cognition, Virtual International Conference on Innovative Production Machines and Systems, Workshop on Content-Based Multimedia Indexing, Knowledge-Based and Intelligent information and Engineering systems. Nous nous sommes aussi rapprochés d'équipes reconnues dans ces disciplines dans le cadre de projets de recherche nationaux ou internationaux (LIP6 Paris 6, INRIA Imedia, PSYCLE, Institute of Psychological Sciences University of LeedsCHART Paris 10, Institute of Computational Engineering CARDIFF, ISRU Newcastle).

1.2.2 Sciences de la conception et recherche-action

L'intérêt de théoriser le processus de conception a été démontré par H. Simon [**Simon, 1969, 1973**]. Celui-ci a établi un référentiel scientifique et théorique de la conception ouvert sur les disciplines des sciences de l'économie, de la psychologie cognitive et de l'IA. Ses travaux ont été poursuivis par J.L. Le Moigne [**Le Moigne, 1977, 1990**] avec l'objectif d'une modélisation théorique des activités de conception visant à optimiser le processus. Plus récemment, d'autres chercheurs ont aussi apporté un point de vue fondateur sur les théories de la conception et l'ont disséminé au travers la revue *Design Studies* [**Lawson, 2004, 2006, Cross, Christiaans, Dorst, 1995**].

M. Liu [**M. Liu, 1992**], et plus tard M.J. Avenier [**M.J. Avenier, 1995**] ont souligné la pertinence de la recherche-action pour appréhender les activités de conception. Selon ces auteurs, le fait d'unifier la recherche et l'action au sein d'un même phénomène est particulièrement adapté à la résolution de problèmes complexes et nouveaux, sans acquis préalable de connaissances spécifiques [**M. Liu, 1992**]. Selon M. Liu, les activités de conception ne peuvent être abordées d'un simple point de vue extérieur en occultant la finalité intrinsèque du phénomène étudié ainsi que sa dimension implicite. Il s'agit alors de prendre part au sein de ce phénomène en produisant de la connaissance autour d'une situation dont on cherchera à mettre en avant l'originalité [**Hugon et Seibel, 1988**]. Cette approche modifiera les représentations des acteurs concernant cette réalité dont ils font partie, sans la réduire et en allant au-delà des formes sociales déjà connues [**Berthon, 1988**]. Comme il est difficile de proposer une vision générique à partir de cas particulier, c'est du croisement d'un nombre important de *recherches-actions* que l'on extraiera des règles génériques. En sciences de la conception, la recherche-action constitue un outil indispensable d'élaboration et de vérification de l'opérationnalité des modèles théoriques. Le chercheur contribue à la transformation du contexte technique et organisationnel dans lequel il intervient et s'investit dans l'action réflexive du groupe sur ses propres pratiques et méthodes [**P. Hetzel, 1994**]. Selon [**De Bruyne, 1984**], la recherche prend ainsi la forme de cycles répétés comportant la définition du problème, la conduite des investigations, le feedback, les informations et la conception de plans d'actions.

1.2.3 Dimension collective en conception, pluridisciplinarité et concurrence

La conception d'un produit ou d'un service requiert l'intervention de différents métiers ou disciplines du fait de sa complexité [Vinck 2003]. Ce caractère multi-métiers, provisoire et instable, entraîne une divergence des représentations internes du problème de conception diminuant à priori la cohésion [Bucciarelli, 1988]. Le rôle de la coordination est prépondérant pour favoriser la réconciliation des différents points de vue et d'assurer la cohérence dans un processus qui vise en premier lieu à définir le problème [Lanzara, 1983]. Les constructs cognitifs du concepteur sont des formations plus ou moins élaborées des constructs de ses partenaires, et ce d'autant plus lors d'étapes préalables où produire une idée, c'est s'engager dans un point de vue [Lanzara, 1984]. Il est alors indispensable de développer des compétences de communication et de délibération basées sur l'évocation de métaphore, l'élaboration de représentations intermédiaires (RI), la concertation, permettant l'ouverture vers la construction d'un monde possible. Le processus de conception est un processus d'interaction collective finalisée au sein duquel les partenaires négocient constamment leurs priorités marquées par l'interdépendance entre un processus social et des aspects techniques.

L'ingénierie concourante contribue à un compromis précoce entre les différents points de vue en résorbant les problèmes de communication. Elle a permis de réduire de la moitié la durée de la conception, en marquant le passage d'une économie de masse à une économie de variété et de réactivité. Elle permet d'anticiper les problèmes par l'intervention conjointe des métiers [Bocquet, 1998], en évitant les retards ou surcoûts dus à des modifications et en augmentant la variabilité des solutions produites [Midler, 1992]. Les plateaux sont des lieux géographiques regroupant les différents acteurs lors des revues de projet, sur lesquels sont exposés les modèles physiques afin de visualiser rapidement les problèmes et de stimuler la créativité tout en générant une forte composante d'apprentissage collectif [C. Midler, 1993, 1994]. Les modèles constituent des RI explicites communes (par exemple un prototype) ou spécifiques métiers (par exemple une maquette de validation en ergonomie). Ils offrent une possibilité de simulation et de réajustement de l'action. La conception s'accompagne aussi de l'utilisation croissante de collecticiels ce qui a donné lieu aux thématiques Travail Collaboratif Assisté par ordinateur (TCAO) ou Computer Supported Collaborative Work (CSCW). Ces logiciels de conception conservent une vision large du travail [Rosenberg & Hutchison, 1994] tout en optimisant le rapport de prescription réciproque entre acteurs [Hatchuel, 1994] dans des situations de conception caractérisées par une interdépendance forte des opérateurs [Béguin, 1994]. Ils favorisent la coopération, parfois en réseau à distance, et la coordination d'activités concourantes, par une délibération et une prise de décision rapides et efficaces.

1.2.4 Modélisation du processus de conception amont

Les chercheurs en sciences de la conception cherchent à modéliser le processus de conception pour l'optimiser. Le formalisme classique propose un découpage linéaire en étapes séquentielles [Pahl et Beitz 1984, Duchamp, 1988, Andreasen, 1987, Aoussat, 1990 ; C. Jones, 1992, Hubka, 1996, Ullman, 1997, Baxter, 1999, Le Coq, 1993, Ulrich, 2000, Cross, 2000, Quarante, 2001, Dorst et Cross, 2001, Howard et al., 2008], de manière à pouvoir planifier de manière opérationnelle l'action dans le temps (voir figure 4).

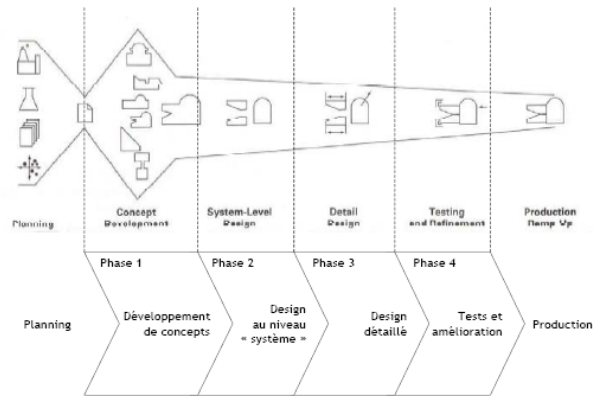


Figure 4: Modèle du processus de conception [Ulrich, 2000]

D'autres modèles plus théoriques représentent le processus de conception comme une succession de cycles élémentaires de conception [Lebahar, 1993, Gero, 2004], en spirale [Boehm, 1984, Blessing, 1994, Rozenburg & Eckels, 1995], en se focalisent parfois sur les notions de divergence et de convergence [Van Der Lugt, 2003, Design Council, 2007], ou le passage d'un espace abstrait à un espace concret, fonctionnel à physique [Suh, 1999], ou fonctionnel à structurel [Tichkiewitch, 1995]. **Notre modèle présenté par la suite se situe dans cette catégorie.** Nos activités de recherche portent sur les phases de *conception amont* (voir figure 5), ce qui les rend spécifiques. Il s'agit en effet des phases les plus précoces de la conception préliminaire au sens préconisé par [Yannou, 2006]. Nous considérons comme *conception amont* les phases de *Définition du CDC (planning)* et celle de *Développement de concepts*. Ces phases qui précèdent la définition d'une architecture **sont par nature fortement implicites**.

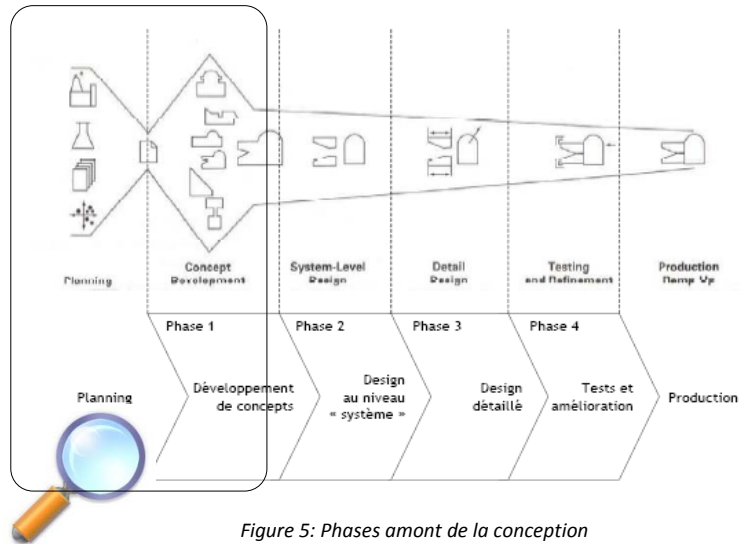


Figure 5: Phases amont de la conception

Malgré son caractère implicite, la *conception amont* reste stratégique pour le futur développement du produit et pour l'optimisation du processus de conception [Cross, 2000, Zeiler & al, 2007]. Elle constitue le lieu où des orientations conceptuelles majeures sont prises avec de fortes capacités de divergence pour des coûts engagés encore relativement faibles. La *conception amont* est aujourd'hui au cœur de la problématique de concurrence. Elle est passée de 3% du temps en ingénierie séquentielle à 30% en ingénierie concurrente. Cette évolution nécessite une formalisation des processus implicites relatifs à ces phases pour pouvoir développer de nouveaux outils informatiques d'AAC qui permettront d'améliorer et d'optimiser la chaîne numérique CAO, PDM, PLM.

Parmi les divers modèles de processus de conception disponibles à ce jour, rares sont ceux qui décrivent les phases amont. Certaines caractéristiques rendent la formalisation du processus de conception amont difficile :

- les informations traitées sont implicites et vagues, les premières RI ne reflétant que très partiellement les processus perceptifs, cognitifs et affectifs mis en œuvre.
- la conception amont intègre une grande diversité de données hétérogènes et fortement liées aux notions de sémantique, d'images, d'émotions, de sensations.
- elle est un cas d'activité de résolution de problème incomplètement défini [Eastman, 1969, Simon, 1973] selon un processus de co-construction du problème et de la solution [Dorst, 2001] avec une représentation incomplète et imprécise du but [Falzon, 1995]. On acceptera une solution concrète [Bisseret & al., 1988, 1999] et originale [Carrol et Moran, 1991] si elle est suffisamment satisfaisante par rapport à des critères choisis le plus souvent subjectivement [Simon, 1973].
- la prise de décision s'effectue selon une démarche conceptuelle descendante et ascendante sur des données intermédiaires en fonction des possibilités ouvertes par l'état de la situation, et ceci à n'importe quel niveau de décomposition du problème en buts et sous-butts et de recombinaison de sous-solutions [Hayes-Roth, 1979, Chandrasekan, 1990, Maher, 1990]. Le rétrocontrôle conditionne la décision [Visser, 1988, 1990, Bisseret & al, 1988, 1999] selon une démarche globale opportuniste [Hayes-Roth, 1979].
- l'activité de conception est caractérisée par ses dimensions individuelle et collective qui prennent toute leur importance en contexte de concurrence multi métiers.

Les recherches menées sur la phase de *Développement de concepts* ont été initiées dans les années 90 [Tovey et al., 1992, 1994, 1997, 2000, 2003, Ri3] en vue de développer de nouveaux outils de style assisté par ordinateur [Scrivener et Clark, 1994] ou d'aide à la créativité [Jaoui, 1990]. Les esquisses constituent l'un des premiers médias qui permettent de représenter et d'évaluer les futurs concepts. La *génération d'esquisses* s'opère selon une démarche individuelle réflexive et itérative qui oscille entre la visualisation et le dessin [Schön, 1983]. Celui-ci permet la simulation par l'externalisation de l'information [Tovey et al., 2003, Van Der Lugt, 2000, 2001, 2003, 2005]. De nombreuses recherches ont aussi été développées afin d'améliorer la créativité individuelle ou collective [Koestler, 1964, Lewis, 1988, 1995, Vangundy, 1992, De Bono, 1995, Isaksen, 2000, Bonnardel, 2000, Syrett, 2002, Alberti, 2007, Buzan, 2009]. Depuis plus récemment, le thème de la *génération de forme* est en constante évolution dans les domaines de la conception architecturale et du design à partir de l'observation du processus de génération d'esquisses [D. Schön, 1992, S. Scrivener & S. Clark, 1994, Do et al., 2000, Van der Lugt, 2000, 2001, 2003, 2005, G. Goldschmidt, 1994, 2005, 2006, Suwa & Tversky, 1997, T. Purcell J. & Gero, 2001, Findeli, 2005, Bilda & Gero, 2007]. Différents outils d'évaluation des RI de concepts ont été progressivement intégrés en conception : l'évaluation sémantique depuis les années 70 [Osgood, 1957, 1979], l'évaluation sensorielle apparue dans les années 90 et l'évaluation émotionnelle qui se développe actuellement [Overbeeke, 1995, Norman, 2004, Green & Jordan, 2001, Desmet, 2002, 2008, 2010]. Les analyses d'usage se voient elles-même transformées par de nouvelles approches ethnographiques, participatives ou expérientielles, en intégrant l'utilisateur de plus en plus tôt dans le processus et en lui attribuant un rôle de plus en plus actif. Dans les années 1990, la notion de *conception centrée utilisateur* [Don Norman, 1998] qui s'applique aux produits-services s'est vue déployée massivement afin d'accroître la compétitivité des entreprises.

Si les recherches relatives aux phases génératives et d'évaluation ont été bien développées, ce n'est pas le cas de celles portant sur la phase inspirationnelle qui les précède. Pourtant, cette étape, malgré son caractère implicite et peu formalisé [Ci47, Eckert & Stacey, 1998, 2000, Büsher, 2004, Mc Donagh, 2005], joue un rôle fondamental dans le processus créatif en stimulant le raisonnement analogique qui aboutit à l'émergence de nouvelles idées et de nouveaux concepts. Le degré de

nouveauté des solutions dépend principalement de cette étape et de sa mise en relation avec les phases génératives. En effet, il a été prouvé que les *penseurs créatifs* utilisent plus de données environnementales non directement liées au problème à résoudre [Ansburg & al, 2003]. Les designers recourent intensivement à des sources d'inspiration majoritairement imagées (informations, références, influences) [T1], qui réfèrent à différents aspects fonctionnels, structurels, affectifs, ou esthétiques [Bonnardel, 2005].

1.2.5 Elaboration d'outils computationnels pour la conception amont

Les outils numériques d'AAC se sont largement répandus dans l'industrie [Hsiao, 2002] dans la phase de *Conception détaillée* qui traite de critères physiques (CAO, CFAO). La numérisation du processus de conception dans cette phase a permis de réduire considérablement les délais de conception avec un transfert rapide et flexible vers les phases de développement. Cette numérisation ou computation a été possible dans la mesure où la phase de conception détaillée était déjà bien formalisée. Afin de réduire les temps de mise sur le marché des produits, de nouveaux outils numériques d'AAC tendent à se développer en *conception amont* où la formalisation par des méthodes classiques est rendue difficile du fait du caractère subjectif, émotionnel, implicite et imprécis de l'information. L'*ingénierie Kansei* vise l'élaboration de nouveaux outils numériques en intégrant les dimensions sémantiques, affectives et émotionnelles. Elle développe des automatismes pour les phases génératives ou d'évaluation à l'aide d'algorithmes appropriés [Nagamashi, 2002, Berthouze, 2002, Hayashi, 1997, Hsiao, 2002, Ishihara, 1995, Schütte, 2005, 2006]. Pour améliorer ces méthodes, les recherches sur la modélisation des processus cognitifs ou affectifs des designers et l'intégration des NTIC deviennent cruciales, avec entre autres les thématiques *human-computer interaction* (HCI) et *réalité virtuelle* (VR). Les NTIC accélèrent le changement qui s'accompagne ainsi d'une réduction des délais par la prise en charge des tâches les moins créatives pour aider dans les tâches les plus créatives [Resnick, 2007] in [Ci8].

Dans la partie suivante, nous allons présenter les travaux de thèse initiale à l'origine de notre recherche.

Genèse de la recherche

Modélisation processus de conception amont.

2

2.1 Introduction

Cette partie est une présentation de ma thèse intitulée *modélisation du processus de design automobile*, qui constitue la base de notre recherche [T1]. Cette thèse en *génie industriel-sciences de la conception*, propose une modélisation des activités cognitives des designers dans les phases amont. L'expérimentation, en partie menée à l'Université de Coventry, a permis de formaliser le processus de design automobile qui est par nature complexe en comparaison d'autres secteurs [Tovey, 1992, 1994, 1997, Birtley, 1996]. Nous avons établi un modèle théorique du processus de conception amont, avec comme objectif industriel la mise en place d'une méthode destinée à l'équipementier automobile en vue d'améliorer sa prise d'information dans le domaine du design¹ automobile. Cette méthode devait lui permettre d'anticiper les évolutions relatives aux processus design dans le souci de structurer son activité en cohérence avec celle des constructeurs. Le modèle théorique considère le processus de conception comme le passage progressif d'un espace problème à un espace solution selon une succession de cycles itératifs de *génération*, *évaluation*, *décision* et *matérialisation* qui incluent les représentations mentales et les représentations explicites. Il a conduit à l'élaboration de méthodes et outils de veille de tendances en design industriel qui en ont été validés en contexte industriel. L'intérêt d'une modélisation des activités cognitives pour formaliser le processus de conception amont a été démontré, ainsi que celui d'analyser les représentations explicites comme un système de signes évolutif selon les dimensions sémantique et émotionnelle. Cette recherche s'est ancrée au sein des thématiques de recherche de l'équipe du département transports de l'Université de Coventry relatives à la *numérisation du processus de design*, de l'Université de Delft avec les travaux portant sur *l'analyse sémantique des produits*, et du LCPI de l'ENSAM sur la *caractérisation des attributs du produit*. Dans les années 1990, l'approche cognitive portait plus sur les activités de conception en général (Falzon, Bisseret, Bonnardel, Darses, Détienne, Visser, 1990).

2.2 Intérêt d'une modélisation des activités cognitives pour formaliser le processus de conception amont [T1]

La psychologie cognitive propose différentes approches de recueil des traces tangibles de l'activité mentale des concepteurs [Bisseret et al., 1999]. L'extraction d'expertise est basée sur la mise en situation et l'observation des concepteurs pour formaliser des données et révéler des processus difficiles à appréhender car implicites. Ces données incluent des connaissances, règles expertes, ou stratégies mises en place à travers les grandes fonctions de la cognition. Le concepteur, afin de résoudre un problème de

¹ Nous avons défini le design comme étant lié à l'ensemble des particularités Formelles, expressives, et émotionnelles d'un objet, ainsi qu'aux paramètres fonctionnels et techniques.

conception, s'imprègne d'informations environnementales prélevées de la situation par traitement sensoriel (mémoire de travail) et réactive des connaissances (mémoire long-terme) pour se constituer une représentation mentale lui permettant la création d'un modèle (voir figure 6). Les informations sont en partie encodées ou transférées dans le répertoire des connaissances stockées dans notre mémoire long terme (*valeurs de firme, éléments du CDC, produits antérieurs, stratégie préalable de résolution, formation, sources d'inspiration*).

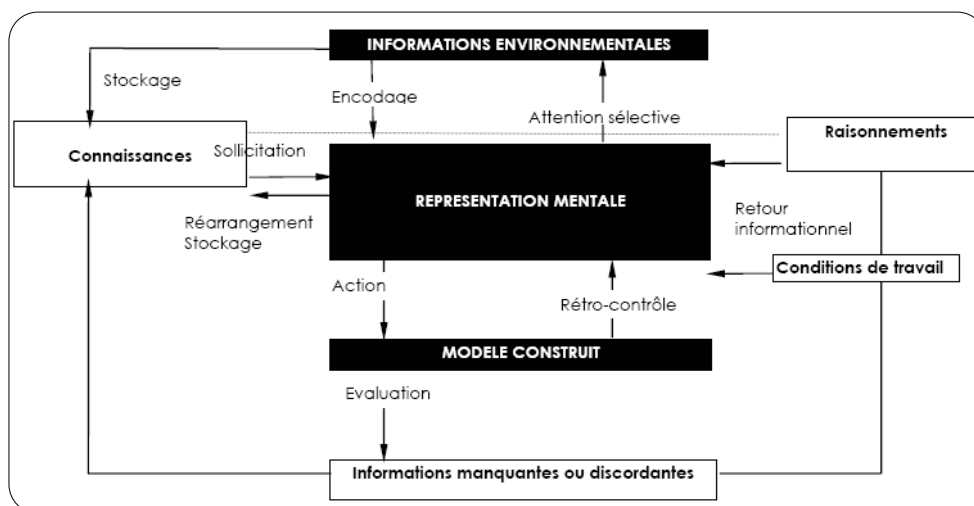


Figure 6: Champ d'observation cognitive (adapté de Rasmussen, 1983)

La représentation mentale produite comporte les contenus transitoires et évolutifs nécessaires à la formulation et la résolution du problème. Devenant efficaces lorsqu'elles sont activées, les connaissances permettent d'interpréter les informations situationnelles (CDC, esquisses...) et de produire de nouvelles informations. Elles sont sollicitées à un moment donné pour être ensuite réarrangées et de nouveau stockées par appariement. Les représentations mentales jouent un rôle central dans la spécification progressive du futur concept en étayant la génération des propositions formelles. Le modèle construit constitue la matérialisation de tout ou partie des attributs de l'objet (esquisses, modèles 3D physiques ou numérique). Il est en cela un support privilégié d'échange et de clarification sémantique.

2.3 Formalisation du processus de conception amont

2.3.1 Objectifs expérimentaux

Nous avons formalisé les processus informationnels qui couvrent les phases de *Définition du CDC* et de *Développement de concepts* à partir d'une série de questionnaires, entretiens et observations réalisés auprès d'étudiants et professionnels en design². L'ensemble des informations intégrées de manière plus ou moins consciente a été identifié et le devenir de ces informations a été formalisé en termes de caractéristiques design, avec une description du processus de matérialisation graphique de la solution. La population des designers automobiles est spécifique par la variété des formations de base, la nationalité, la manière de traiter un projet, et la motivation due aux dimensions créative et hédonique d'une activité ouverte sur des domaines de connaissances variés. Les compétences sont développées intuitivement par l'exercice, l'imitation et l'assimilation. Les valeurs transmises par la culture d'école ou d'entreprise influencent la matérialisation d'un style en dirigeant la

² Université de COVENTRY, ENSAAMA, BMW, PSA.
Carole Bouchard, Mémoire d'HDR, Soutenue le 9.7.2010

recherche sur des domaines cibles particuliers qui se retrouvent dans le traitement formel par l'application de règles. Le designer traite de dimensions abstraites difficilement verbalisables et appréhendables même par un concepteur (sensations, émotions). Le discours qu'il utilise est peu accessible à des non-spécialistes.

2.3.2 L'espace problème

Selon [Newell et Simon, 1972] cités par [Richard, 1990], la résolution d'un problème correspond au déplacement à l'intérieur d'un espace de recherche selon une succession d'états intermédiaires et d'opérateurs entre deux noeuds initial et final caractérisant la situation de départ et la situation but. C'est souvent lorsque les premiers éléments de solutions seront évoqués que le concepteur qui se représente le problème pourra prendre la mesure de ses exigences initiales en en précisant la représentation jusqu'alors implicite ou floue [Prost, 1992, 1997]. Nous avons spécifié l'espace problème à partir des dimensions intégrées lors d'un projet d'après les designers eux-même (voir figure 7). Les dimensions qui sont apparues comme majeures sont l'émotion et la personnalité (32%). L'émotion provient de facteurs subjectifs ou cognitifs liés à la connaissance, à la culture et à l'interprétation personnelle. L'expression formelle entrainera des réactions émotionnelles, d'autant plus si elle intègre des règles d'esthétique avec la présence d'harmonies et une certaine *fraicheur* ou *originalité*.

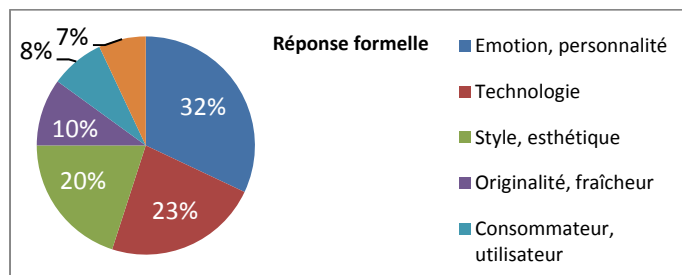


Figure 7: Dimensions traitées et perçues en design automobile, modalités de la réponse formelle

2.3.3 Le processus de design automobile

L'approche du designer s'effectue selon un processus à la fois individuel et collectif. En contexte automobile, l'espace de travail, protégé pour des raisons de confidentialité, rapproche l'ingénierie des autres départements afin de faciliter le *feed-back* sur la faisabilité. L'intégration des différents profils métiers s'effectue grâce à des configurations en plateaux où la chaîne de responsabilités est relativement courte. Les outils manuels de matérialisation graphique et volumique évoluent peu à peu vers des outils numériques qui éliminent le besoin de certaines boucles de génération de modèles et accélèrent de manière importante les activités d'ingénierie simultanée (voir figure 8).

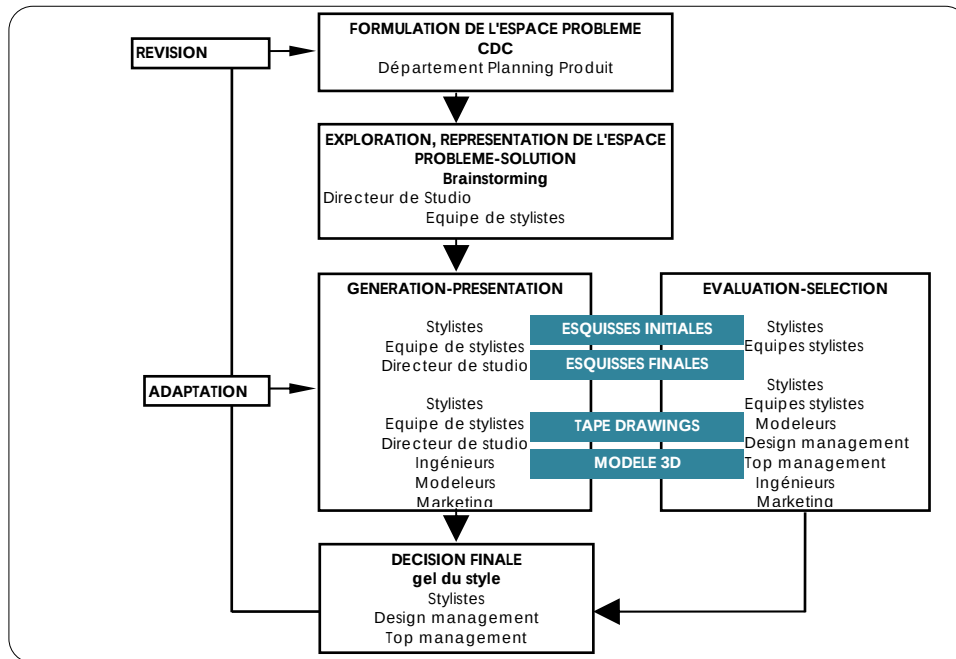


Figure 8: Processus de design automobile

La formalisation de nombreux états de représentation fait du processus de design automobile un des processus les plus formalisés en conception. Plusieurs possibilités conceptuelles sont explorées en réponse au CDC par la génération rapide d'esquisses évaluées et en partie sélectionnées à travers une série de présentations et de discussions. Les idées précoces sont traduites en concepts puis converties en vues orthogonales flexibles appelées *tape drawings* (TD). A partir des TD sont déduits des gabarits qui permettent de créer le modèle 3D à l'échelle 1 pendant qu'une équipe restreinte d'ingénieurs travaille en faisabilité-qualité-coûts auprès des designers et des modeleurs. L'évaluation s'accompagne de tests *cliniques* effectués auprès des consommateurs sur les modèles finis. La proposition sélectionnée pour les départements d'ingénierie et outillage sera développée par les ingénieurs pour entrer dans le cycle de production en reproduisant fidèlement le modèle 3D développé en studio. Lorsque le design est *gelé*, les surfaces sont numérisées ce qui permet de prototyper le modèle de référence. Le relais est alors passé aux équipementiers intégrés dans le projet lors de la numérisation des surfaces approuvées par le style.

2.3.4 Informations et données intégrées dans le processus design [R17]

On peut catégoriser les informations intégrées par le designer en informations liées au projet et en informations assimilées plus ou moins consciemment telles que les influences ou inspirations. Nous entendons par secteur d'influence *tout secteur plus ou moins éloigné du secteur de référence, duquel on va extraire des informations pour les transférer dans les nouvelles solutions*. Les secteurs d'influence identifiés pour les designers automobiles sont présentés dans le tableau 2.

Year	1997	
Designers	40 (10 professional, 30 students)	
Nationality	French, English, German	
Sectors	1 Car design & automotive 2 Aircrafts, aeronautics 3 Architecture 4 Interior design & furniture 5 Hi-Fi 6 Product design 7 Fashion 8 Animals	9 Plants 10 Science Fiction 11 Virtual reality 12 Fine arts 13 Cinema 14 Music 15 Travels 16 Food

Tableau 1: Secteurs d'influence des designers automobiles [T1]

La recherche d'informations est une démarche intentionnelle mise en oeuvre pour compléter le CDC alors que le processus inspirationnel correspond à la réactivation plus ou moins consciente de connaissances préalablement mémorisées lors d'activités qui dépassent le cadre professionnel. Les sources d'inspiration permettent des transpositions entre le domaine de référence et des domaines éloignés. Le résultat de la recherche informationnelle se traduit essentiellement sous forme visuelle (images de tendances, croquis), le mode textuel étant utilisé pour mettre en avant les points clefs. Les designers opèrent une investigation plus ou moins systématique et organisée du simple coup d'oeil à la constitution de planches de tendances et banques de données à l'aide d'images provenant de visites de salons, d'expositions, du web ou de magazines. La veille s'oriente pour une large part vers le domaine de référence complété par les domaines d'influence investigués selon un processus très subjectif et particularisé. Le choix des références dépend du projet et du designer selon ses valeurs, ses centres d'intérêts et la fréquence de renouvellement des sources. Des éléments particuliers plus ou moins abstraits en fonction des secteurs d'influence sont recherchés tels que des impressions liées à la perception globale, des éléments stylistiques, des caractéristiques techniques ou des données utilisateurs.

2.3.5 Représentations mentales des designers [Ri5]

Les designers s'imprègnent de codes visuels et verbaux prégnants qu'ils matérialisent par des notes ou croquis. Le CDC initial est complété et clarifié collectivement par brainstorming pour aboutir à une représentation commune décrite verbalement selon un langage essentiellement analogique avec une référence marquée aux êtres vivants. La représentation initiale résultant du traitement du CDC va évoluer au fur et à mesure de la réduction de l'incertitude, grâce à la mise en oeuvre de processus d'acquisition d'information, d'interprétation et de guidage de la construction de la représentation par les connaissances transférées de la MLT vers la mémoire de travail (MT) [Akin, 1978]. En construisant simultanément le problème et la solution [Falzon, 1995, Dorst, 2001], le concepteur élabore peu à peu une représentation individuelle de l'espace solution, originale et particulière [Bisseret & al., 1988, Carrol et Moran, 1991]. Lors de la réalisation des premières esquisses, la représentation mentale est caractérisée par une succession d'images globales et floues du concept en harmonie avec une ambiance particulière. Le designer, seul à pouvoir évaluer l'écart entre sa représentation mentale et la première esquisse construite, tentera plusieurs voies jusqu'à satisfaction. La succession des représentations mentales s'exprime à travers la séquence des vues dessinées en imaginant un concept pivotant sur lui-même jusqu'à une représentation intégrale de l'objet. La plupart des designers disent visualiser mentalement différentes images juste avant les premiers tracés. Ces images mentales par nature dynamiques, éphémères, globales ou détaillées, reflètent les sources d'inspiration et le travail de conceptualisation de la forme en cours. Le recours à des images préalables n'est pas systématique. Dans le cas inverse, les designers cherchent à en induire une par le tracé de lignes aléatoires. Lors de la réalisation d'esquisses, l'espace problème est un objectif évalué de manière presque subconsciente en interprétant l'esquisse réalisée. Malgré une définition précise du concept par le biais

d'esquisses, l'interprétation 3D des esquisses ne peut être que mentale, donc sans mesure, et présente des exagérations inévitables lors de la réalisation [Birtley, 1996]. L'image mentale 3D jouera une part importante dans le processus de décision et de conseil du designer au modelleur.

2.3.6 La matérialisation graphique [Ri3]

Les premières RI physiques sont généralement les esquisses qui constituent un support visuel pour la génération et la structuration de nouvelles idées. La réalisation d'esquisses permet de réduire progressivement l'incertitude en simulant l'évocation combinée d'informations concrètes et abstraites, sur la base d'une représentation mentale provisoire du problème pour exprimer, tester, modifier et interpréter, avant de les juger définitives, les futurs concepts [Lebahar, 1986]. La matérialisation correspond à la fixation instantanée d'une image mentale sous forme d'esquisse. L'esquisse est un média économique dans la mesure où elle se limite à l'information requise pour résoudre le problème en exprimant un minimum d'hypothèses et de solutions sur l'objet à concevoir pour permettre de garder la recherche suffisamment ouverte sans interrompre le processus de génération de forme [Lebahar, 1986]. Les formes élaborées proviennent de l'encodage graphique des contraintes contenues dans l'espace problème et de choix provenant de l'image mentale anticipatrice d'une figure d'ensemble. La définition progressive de l'objet s'effectue par la réalisation de représentations graphiques dont la précision augmentera. Nous avons comparé expérimentalement l'utilité d'outils graphiques manuels ou numériques. Les designers ont estimé que les outils manuels procurent plus d'expressivité et de caractère à la représentation, une plus grande rapidité d'exécution et une plus grande liberté de création. Les outils manuels de modélisation 3D sont appréciés pour les possibilités de visualisation du volume réel de l'objet et pour la validation de la forme par une approche sensorielle. Quant aux outils numériques, s'ils permettent une validation dimensionnelle de la production, ils doivent encore s'améliorer en autorisant l'exploration d'idées imaginatives et une certaine plasticité. Les systèmes de type tablettes graphiques peuvent altérer la relation sensorielle tactile et visuelle dans le cas d'une visualisation indirecte, ainsi que la notion de temps réel. En revanche l'impact de communication constitue le point fort des outils infographiques, qui offrent une importante réduction des délais par le lien CAS-CAO-CFAO.

2.4 Modélisation de la dimension perçue en conception

La conception peut être vue comme la production et la concentration progressive d'information au sein de RI successives qui interviennent comme un système de signes évolutif [Toyama, 1976]. Le différentiel sémantique permet d'élaborer des modèles prédictifs qui mesurent l'adéquation entre le message projeté par le designer et celui perçu par le consommateur. La perception d'une forme relève d'un processus sensoriel suivi d'une opération cognitive de comparaison et de reconnaissance de forme par assimilation avec les autres formes en mémoire. Les données sensorielles sont insuffisantes pour engendrer une réaction cohérente: il faut le soutien de valeurs abstraites (marque, nationalité, caractère). [Smets & Overbeeke, 1995] ont montré que les designers et les non-designers ne possèdent pas les mêmes capacités de différenciation: s'ils évaluent le design selon les mêmes dimensions, les jugements des designers sont plus fins. En plus des processus perceptifs et cognitifs, l'impact affectif lors d'évaluations globales a été souligné par [Zajonc & Markus, 1982] pour discriminer entre différentes options à valeur fonctionnelle égale [Havlena & Holbrook, 1986]. L'effet émotionnel résulte de l'expressivité de l'objet selon l'originalité, le caractère, souvent traduit par l'expression de métaphores, l'esthétique et les valeurs abstraites. Sur la base d'échelles de Lickert, il est possible de mesurer la réaction multi-dimensionnelle sémantique et affective et de formaliser le lien entre des descripteurs sémantiques et les codes formels [Osgood & al, 1957]. Nous avons utilisé cet outil pour étudier l'influence du type de RI sur la perception de la solution. Les

photographies ont été considérées comme proches des images de synthèse, alors que les esquisses restent un mode de représentation à part du fait de leur caractère imprécis. L'influence du type de RI varie selon que celle-ci est globale ou partielle. Les images de synthèse globales ou détaillées ont été évaluées de manière similaire, contrairement aux esquisses considérées comme plus esthétiques dans le cas d'un rendu global. Nous avons aussi utilisé le différentiel sémantique pour formaliser la composante sémantique projetée par les designers sous l'angle de l'image de marque et de valeurs sociologiques. En caractérisant l'expression de la marque sur plusieurs modèles de véhicules, les designers ont mis en évidence que la reconnaissance de la marque dans ce secteur s'effectue à travers la perception de lignes, formes, contours ou attributs sémantiques majoritairement sur les composants *grille de calandre*, *écusson logo* et *optiques avant*.

2.5 Modélisation théorique du processus de conception amont

2.5.1 Modèle général [Ri6, Ri10]

Le processus de conception peut être vu comme la matérialisation progressive d'un espace problème (CDC) en un espace solution, selon un modèle évolutif représenté figures 9 et 10.

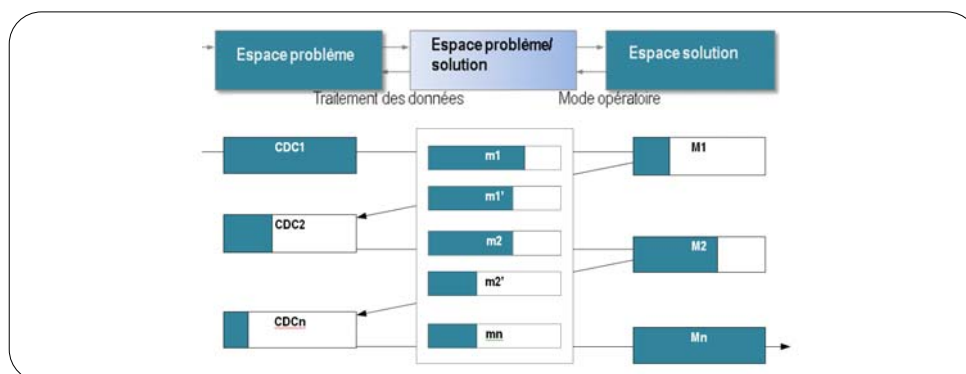


Figure 9: Modèle informationnel du processus de conception amont (design)

2.5.2 Modèle détaillé

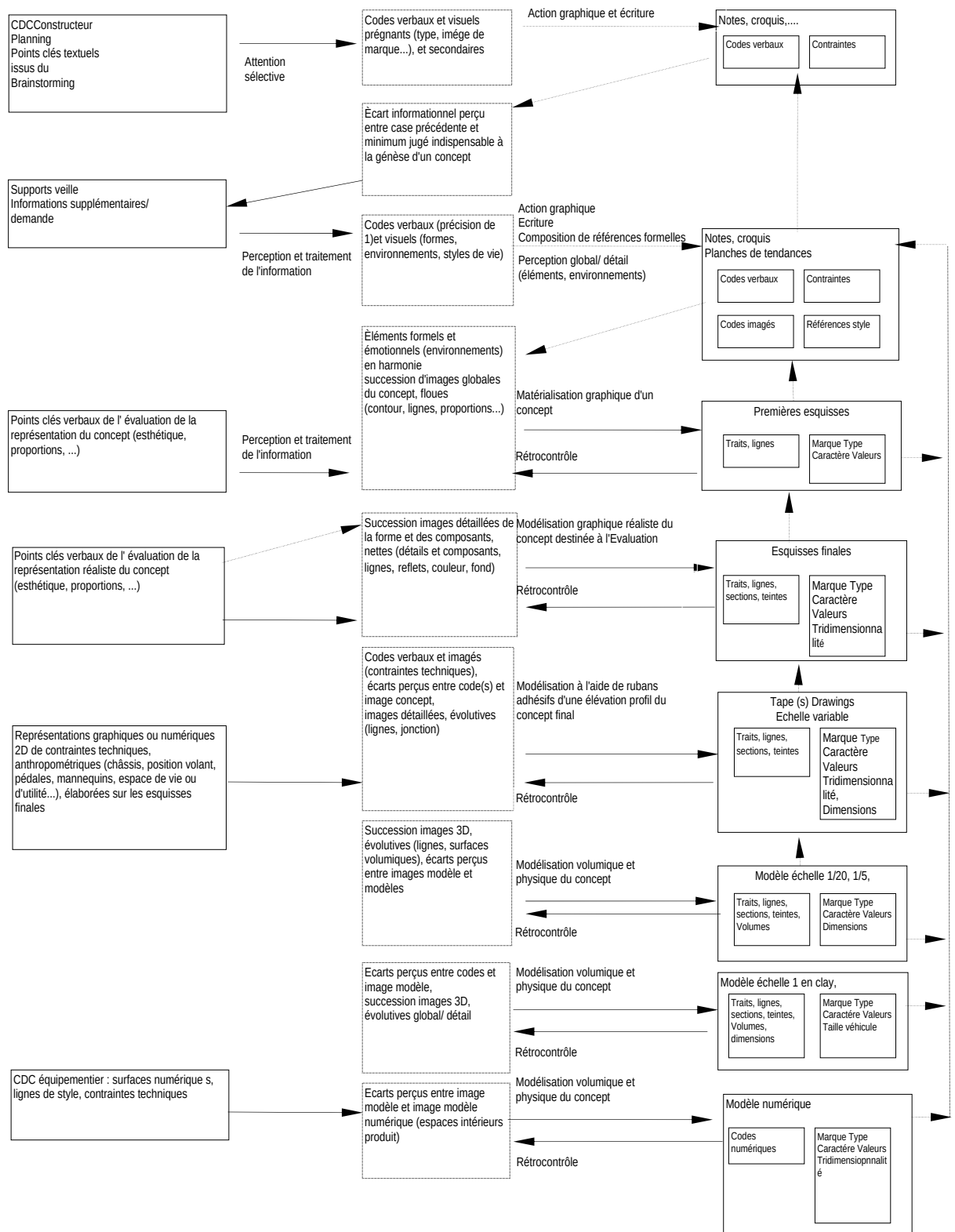


Figure 10: Modèle du processus de conception de la forme (style automobile)

Le processus informationnel consiste à réduire l'abstraction par l'utilisation de cycles de représentations mentales et physiques successifs intégrant de plus en plus de contraintes. Chaque étape de conceptualisation comprend un cycle itératif [Wang, 1995]. La visualisation d'une nouvelle représentation physique va générer de nouvelles idées et de nouvelles solutions jusqu'au développement d'une solution spécifique. Une transformation partielle de l'espace problème en espace solution s'opère à chaque cycle via la représentation mentale du designer, suivie d'une évaluation. Les différentes RI constituent une mémoire externe qui modifie la perception du problème de façon décisive. Chaque cycle CDC1, m1, M1 correspond à un état de représentation. L'évolution du CDC se définit par la transformation de finalités en buts, de buts en objectifs, d'objectifs en critères, de critères en spécifications techniques de plus en plus concrètes. La représentation mentale correspond en partie à l'image du modèle physique. En définissant tout modèle par un ensemble d'attributs, le processus P est alors caractérisé par la succession des cycles: CDC1M1 (A11, A12,..., A1n), CDC2M2 (A21, A22,... A2n), CDCnMn (An1, An2,..., Ann), ...).

2.6 Vers la formalisation d'un outil de veille

Si les futurs outils numériques d'AAC tendent à évoluer vers un continuum de la chaîne numérique, les outils CAO ou d'imagerie présentent déjà un apport important vis-à-vis des fonctions de formalisation, mémorisation numérique, communication et matérialisation. On tend ainsi vers une numérisation des flux d'information dans les phases amont avec par exemple les outils de Style Assisté par Ordinateur (SAO). Le recours à des SI formalisés représente un facteur stratégique dans la mesure où ces SI rendent possible une mémorisation collective des données qui ont servi à l'élaboration de la représentation commune du projet et leur accessibilité en temps réel [Le Moigne, 1973]. Notre modèle théorique nous a conduits à la définition d'un système d'information (SI) visant à effectuer une *veille sur les tendances design*.

2.6.1 Formalisation d'un outil de veille de tendances

Nous avons défini un outil global de veille design basé sur l'analyse des tendances en design automobile. La formalisation des processus cognitifs des designers dans la phase d'information nous a permis de spécifier les étapes clés autour desquelles structurer un tel outil qui sont (1) la définition sémantique du thème exprimé dans le cahier des charges, (2) l'identification des secteurs d'inspiration et (3) le recueil des sources et leur catégorisation. Le recueil de sources d'inspirations permet de formaliser un contexte traduit à travers une ambiance où se juxtaposent de manière cohérente les niveaux axiologique, sémantique et formel sous forme de compositions d'images et de mots clés. Ces niveaux sont reliés entre eux selon des liens réciproques valeurs-fonctions-solutions pouvant être formalisés par la méthode du chaînage cognitif [Valette-Florence, 1994]. Le contexte dont s'imprègne le designer est déterminant pour imaginer la future solution autour de traits prégnants avant de la matérialiser graphiquement [Christofol, 1995]. Le passage d'analyses ponctuelles des tendances à une veille continue nécessite l'élaboration et la mise à jour de bases de données utilisables à la fois comme outil de veille et de créativité. Ces bases doivent être structurées par secteurs de manière à pouvoir être utilisées dans le cadre de différents projets. Les ambiances, plutôt centrées sur le sens visuel, tendent évoluer vers des supports multi-sensoriels. Lors de l'expérimentation, nous avons établi la liste des secteurs d'influence du secteur automobile sur la base des sources d'inspiration citées par les designers automobiles (voir tableau 2 p 54). Nous avons aussi spécifié les grandes fonctions à intégrer au sein d'un outil de veille idéal pour l'équipementier automobile comme l'aide à la réalisation de planches de tendances, le comptage statistique des tendances et leur synthèse sous forme d'esquisses, le support à l'évaluation sémantique avec la mise en relation automatique de descripteurs

sémantiques avec les images d'attributs ou de concepts, ou l'association de termes sémantiques à la BDD photos physique.

2.6.2 Mise en perspective de l'outil de veille de tendances

Après avoir défini les grandes fonctions d'un outil de veille, nous avons imaginé son intégration dans un processus de co-conception en envisageant une veille informatisée qui serait intégrée au sein d'un espace numérique ou de réalité virtuelle (RV). Cet espace numérique ferait appel à des technologies support permettant de computer les cycles itératifs en intégrant des données et des contraintes, tout en permettant de générer de nouvelles formes. Nous avons souligné l'intérêt d'une assistance à la veille informatisée et du potentiel de technologies telles que les technologies d'infosculture et de réalité virtuelle. Les perspectives envisagées à la fin de cette thèse visaient une numérisation complète du processus de conception, de manière à rendre la modélisation continuellement modifiable et visualisable.

Les outils de Style Assisté par Ordinateur (SAO) sont basés sur différentes méthodes: approche morphologique, modelage libre d'esquisses ou projection d'esquisses sur un volume de base [Ri11]. L'approche morphologique permet de générer par exploration systématique un grand nombre de combinaisons d'idées à partir d'une décomposition fonctionnelle du produit. Les futurs outils de veille de tendances devraient pouvoir opérer dans un environnement unique 2D-3D des interpolations automatiques de forme (morphings) entre des éléments sources et des éléments cible, en étayant le processus inspirationnel par l'utilisation de BDD numériques [Wang, 1995]. L'acceptation d'outils numériques dans les phases les plus amont repose sur la quantité et la pertinence des données ou règles, et la préservation de certaines propriétés sensorielles et hédoniques de l'activité des designers, l'ansebe de ces qualités pouvant s'accompagner de la crainte des designers d'un sentiment de dépossession de leur capacité d'imagination, en particulier lors de la phase d'information [Balayou & Volatier, 1995]. L'outil logiciel peut permettre l'extraction automatique d'un très grand nombre de données formelles et leur application directe sur le modèle numérique. Celui-ci peut être facilement intégré au sein d'ambiances afin de visualiser des finitions en contexte avant leur prototypage direct par la chaîne CAS-CAO-CFAO. Un outil numérique global qui proposerait un module SAO dans un environnement où il est possible de rappeler des éléments préexistants, apporterait par ailleurs une fidélité plus importante entre les éléments prototypés en amont et ceux prototypés en aval.

La modélisation du processus de conception en une série de boucles décroissante où chaque proposition est évaluée vis-à-vis d'un ensemble de critères, testée et validée par l'équipe, nous amène à considérer l'évaluation des modèles par chacun des métiers. Dans un environnement numérique, un rapprochement avec les méthodes orientées objet pourrait conduire vers un mode d'itération modulaire d'un point de vue fonctionnel, où chaque expertise métier ferait l'objet d'un module. Le mode de saisie par fonction rend possible le développement d'algorithmes d'analyse de performances et de correspondance au CDC, autorisant de nombreuses évaluations en temps réel [Chirowsky, 1993]. Le système spécifie les contraintes et conflits de contraintes après une hiérarchisation initiale par l'utilisateur à l'aide d'un logiciel de type analyse fonctionnelle. La numérisation complète du processus de conception devrait à terme permettre un modelage numérique en temps réel dans un environnement de réalité virtuelle avec des moyens d'infosculture. Cette approche proche des méthodes traditionnelles de modelage se résumerait en quelques fonctions, permettant la modification d'une forme par ajout ou suppression de matière, la définition d'un produit type à partir d'objets existants, ou la transformation d'une forme par différentes actions (exercer une force sur un objet, lisser les formes, couper de la matière en utilisant différents outils, ajouter un élément existant, changer la couleur ou la structure des surfaces). Si l'on extrapole cette idée en envisageant en

plus le support d'une génération semi-automatique de formes, on peut envisager l'utilisation d'algorithmes génétiques qui pour chaque nouvelle boucle procurent une réponse qui est implémentée jusqu'à la suivante et amènent à une meilleure solution à chaque fois. Ces algorithmes sont utilisés dans la conception d'objets complexes pour trouver des configurations compatibles avec un nombre de critères importants. Ils peuvent aussi être utilisés pour développer une série de formes plus ou moins aléatoires. Une forme détaillée est créée en choisissant un certain nombre de paramètres. Sont générées différentes solutions faisant appel au facteur de jugement humain subjectif. Les techniques des réseaux neuronaux ou de logique floue constituent d'autres technologies supports bien adaptées au traitement de données imprécises et subjectives qui caractérisent le processus de conception amont.

2.7 Conclusion

Quatre apports de cette thèse ont guidé fortement les orientations de recherche qui ont suivi:

- **L'intérêt d'une approche de modélisation cognitive pour l'extraction des connaissances et règles expertes dans un domaine où l'information est subjective et peu formalisée.**
- **La modélisation du processus de conception selon plusieurs types d'activités et phases qui interagissent en conception: la génération, l'évaluation, la matérialisation de RI et la décision.**
- **L'importance majeure de la dimension émotionnelle au sein des processus informationnels plus ou moins conscients et explicites mis en œuvre par les designers.**
- **L'intérêt de l'élaboration d'un outil informatique pour la veille de tendances design cohérent avec l'évolution vers une chaîne numérique complète de conception.**

Synthèse des recherches

Synthèse historique des recherches :
Modélisation et computation du processus de
conception amont.

3.1 Introduction

Dans cette partie intitulée *Synthèse des recherches*, nous retraçons le déroulement de notre recherche en expliquant la construction progressive et thématique relative à *la modélisation et la computation du processus de conception amont*. Nous investiguons en particulier le métier du design, mais aussi celui de l'ergonomie. Le modèle théorique initial présenté dans la partie précédente a ensuite été implémenté et affiné grâce aux recherches qui ont suivi. Ces recherches ont été supportées par des projets Européens (CHIPS, KENSYS, TRENDS), nationaux (TVI, GENIUS) ou des partenariats de recherche industrielle principalement dans les secteurs automobile, de l'énergie et de la cosmétique.

3.2 Formalisation globale du processus de conception amont (design)

3.2.1 Objectifs

La thèse initiale a porté d'un point de vue théorique sur la *modélisation du processus de conception amont*. Elle a eu pour finalité industrielle la mise en place d'une méthode destinée à l'équipementier en vue d'améliorer sa prise d'information dans le domaine du design automobile. Il s'est agi de répondre à une problématique d'anticipation des tendances en design industriel pour que l'équipementier puisse mieux se positionner vis à vis des constructeurs automobiles. La thèse s'est appuyée sur une expérimentation combinant une recherche-action et des expériences de laboratoire. Dans cette expérimentation, le recueil de l'information a été largement basé sur des approches issues de la psychologie cognitive. Cette expérimentation nous a conduits à la définition d'un modèle théorique du processus de conception.

3.2.2 Contributions

Notre modèle théorique considère le processus de conception comme la matérialisation progressive d'un espace problème (CDC) en un espace solution (modèle numérique 3D), selon un processus informationnel qui consiste à réduire l'abstraction par l'utilisation de cycles successifs de représentations mentales et physiques intégrant de plus en plus de contraintes (voir figure 11).

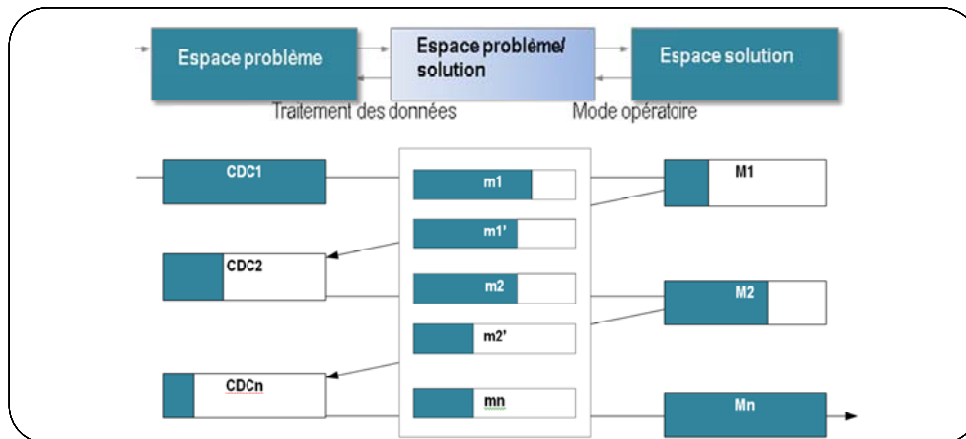


Figure 11: Modèle informationnel du processus de conception amont (design)

Nous avons structuré ce processus informationnel en 4 grandes phases d'information, de génération, d'évaluation, et de matérialisation (voir figure 12), pour rendre compte des opérations cognitives associées à chaque cycle. Notre recherche porte avant tout sur les trois premières phases, là où les données sont encore peu formalisées.

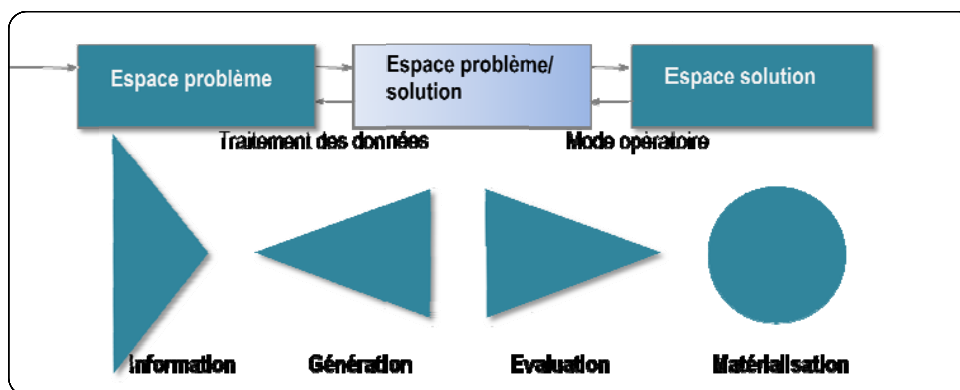


Figure 12: Modélisation du processus de conception amont (design), alternance des phases de divergence, convergence, matérialisation

La phase d'*information* correspond à l'intégration de données et sources d'inspiration par les designers. La phase de *génération* consiste à générer des idées et concepts en faisant parfois appel à des sessions de créativité. Le choix des bonnes solutions s'effectue ensuite selon les critères du CDC par un processus analytique. La phase d'*évaluation* selon les aspects design et ergonomie, cherche à appréhender les processus perceptif, cognitif, affectif et d'usage ou plus globalement expérientiel, selon le degré d'avancement des RI. La phase de *matérialisation* vise à donner à chaque étape une teneur physique et à rendre la RI présentable à l'équipe de conception. Le processus de conception se réalise alors selon une succession de cycles comprenant les phases d'information, de génération, d'évaluation de sélection et qui permettent peu à peu une concrétisation (figure 13). Ces phases doivent être prises en compte de manière équilibrée car chacune d'entre elles impacte de manière importante l'ensemble du processus. Si les phases de génération et d'évaluation ont fait l'objet de nombreuses recherches, en particulier sur la génération d'esquisses et sur l'évaluation sémantique des RI, la phase informationnelle a été moins étudiée jusqu'à présent du fait de son caractère implicite. D'autre part, si les processus créatifs ont été bien formalisés en conception détaillée, notamment avec l'approche Triz, ils le sont beaucoup moins dans les phases de conception générale.

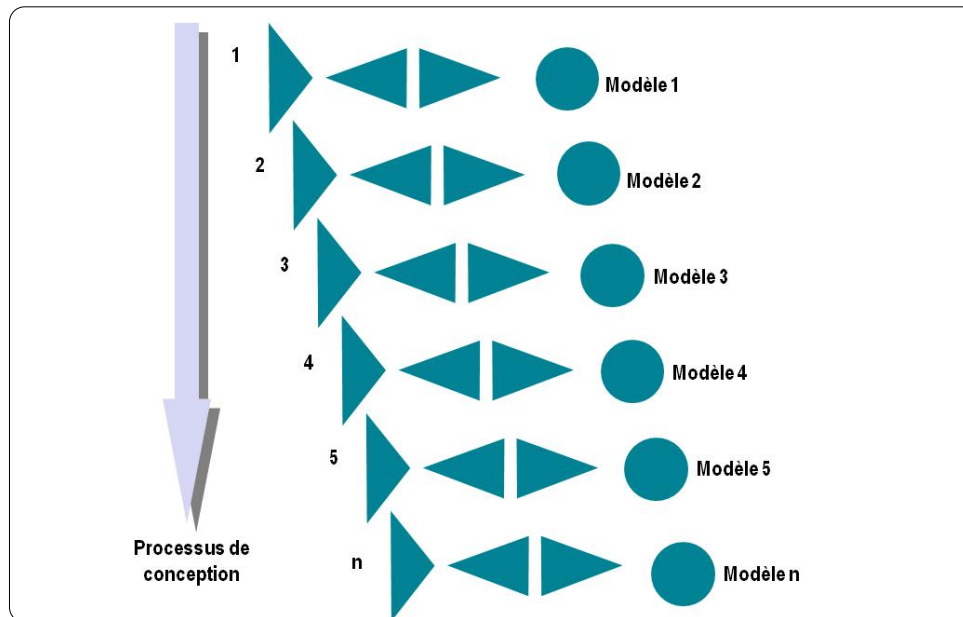


Figure 13: Le processus de design, une succession de cycles de matérialisation

Enfin, le lien entre la partie informative et la phase générative n'a pas encore été réellement établi. Nous avons concentré notre recherche majoritairement là où apparaissaient les lacunes. Le modèle théorique a donné lieu à la formalisation de méthodes et outils qui en ont ensuite été appliqués et validés en contexte industriel. La thèse initiale a démontré l'intérêt d'une approche de modélisation cognitive pour l'extraction de connaissances et règles expertes dans un domaine où l'information est subjective et peu formalisée. Elle a aussi fait ressortir l'importance des dimensions sémantiques et émotionnelles au sein de processus informationnels plus ou moins conscients et explicites mis en œuvre par les designers. Lors de l'élaboration d'outils méthodologiques, la numérisation du processus de conception dans les phases amont a été abordée plus sous l'angle des perspectives en mettant en avant l'intérêt de méthodes ou technologies telles que la RV, les algorithmes génétiques pour la génération de formes, et les approches orientées objet pour élaborer des modules d'évaluation métiers.

3.3 Formalisation de la phase d'information

L'Analyse des Tendances Conjointe (ATC) vise à anticiper les tendances en design industriel. Nous avons construit cette méthode à partir d'une modélisation des activités cognitives des designers en amont du processus de conception lors des phases précoces de recherche d'inspirations ou d'information. Dans cette phase, les designers intègrent une grande quantité d'informations qu'ils synthétisent et transforment en partie lors de la réalisation des premières esquisses. L'ATC s'appuie sur l'identification des secteurs d'influence investigués par les designers. Ces secteurs constituent la base du raisonnement analogique qui apporte l'éloignement créatif. Grâce à cette méthode (voir figure 14), on peut extraire de ces secteurs des caractéristiques design transférables dans le secteur de référence. Ceci permet de formaliser de nouvelles RI en amont de la génération d'esquisses : le *mapping sémantique* et les *planches de tendances*. L'intérêt de la méthode, d'un point de vue théorique, est qu'elle constitue une aide à la formalisation de relations cohérentes entre des descripteurs dits *haut-niveau* (valeurs, sémantique) et des attributs dits *bas-niveau* (forme, couleur, texture) en augmentant le nombre de données traitées. L'ATC rend explicites ces relations qui caractérisent l'expertise des designers.

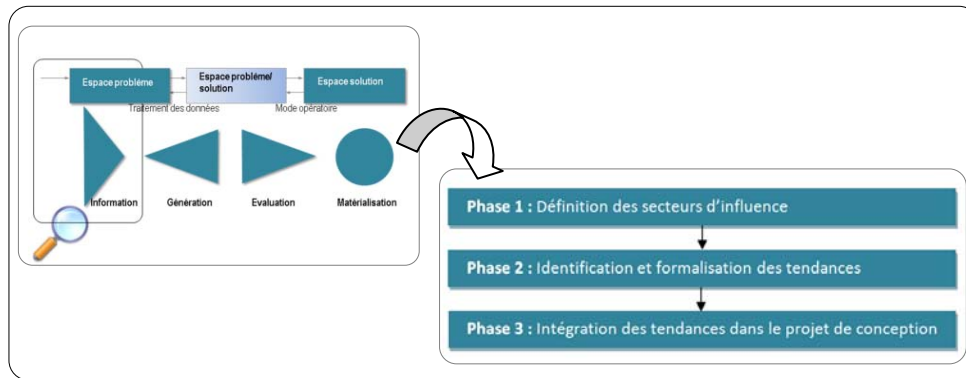


Figure 14: Formalisation de la phase d'information

De 1998 à ce jour, nous avons déployé cette méthode dans l'industrie, dans le secteur automobile puis dans d'autres secteurs. L'application de la méthode a permis d'affiner et de valider le modèle théorique dans la phase d'information (voir figure 15) et de mettre en évidence certaines limites de l'ATC. Ces limites concernaient la difficulté à recueillir une information exhaustive ainsi que les temps importants de recherche ou de traitement de l'information. La recherche d'information manuelle peut en effet s'avérer laborieuse, parcellaire et trop ponctuelle ou localisée. Nous avons alors envisagé une computation partielle de la méthode. Le modèle théorique présenté figure 15 fait ressortir les données, informations, et règles expertes qui les relient entre elles. Il montre 3 types de donnée : les secteurs d'influence, les catégories et les palettes, et 3 types de règles de *sélection*, *catégorisation* et *extraction d'harmonies*.

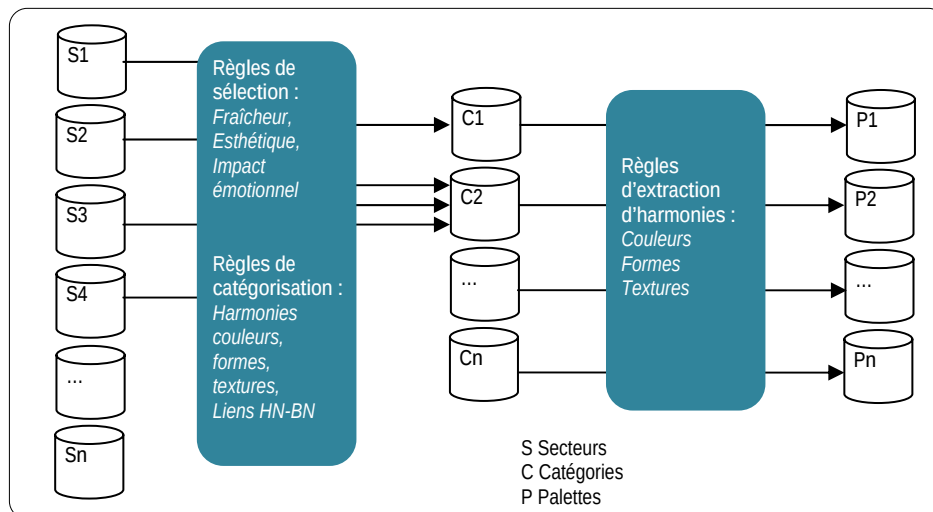


Figure 15: Modèle théorique de formalisation de la phase d'information

3.4 Computation de la phase d'information

3.4.1 Objectifs

Plus récemment, à partir de 2005, nous avons entrepris une recherche sur la computation partielle de la méthode ATC. L'objectif a été d'établir des modèles de données adaptés aux phases amont de la conception qui soient implémentables par des algorithmes. Ces modèles devaient être capables de répondre aux problématiques actuelles de conception, soit d'augmenter la variété dans la réponse design tout en réduisant les délais de conception. Le développement d'un outil computationnel qui supporterait l'application de l'ATC en automatisant certaines boucles routinières et en faisant appel aux ressources du web nous a semblé pertinent afin de lever les limites

précédemment citées. La phase inspirationnelle pourrait ainsi être améliorée par l'ordinateur, en rendant possible le traitement d'une plus grande quantité de données, avec un traitement statistique sur les tendances et des opérations de catégorisation automatiques sur des ensembles d'images. L'application concrète de cette recherche a été réalisée dans le cadre du projet TRENDS. Nous avons modélisé de manière plus détaillée l'activité cognitive des designers dans la phase d'information en orientant cette modélisation vers des formalismes capables de rendre compte des règles expertes à travers des routines intégrant le processus créatif. Nous avons défini un modèle sémantique implémentable par des modèles d'exploitation de données en combinant une *ontologie métier* et des *sacs de mots*. Nous avons par ailleurs formalisé les processus de catégorisation de l'information et de synthèse visuelle des designers de manière à les rendre implémentables par des *algorithmes de clustering*. Cela nous a permis de numériser en partie la méthode ATC.

3.4.2 Contributions

Le cœur de ma recherche a porté sur la définition de formalismes spécifiques (données, règles, formats) pour aider à l'implémentation par les développeurs. De manière plus générale, la contribution du LCPI a porté sur les quatre points suivants :

- Modélisation détaillée des processus cognitifs des designers dans les phases d'information, traduction de la méthode ATC en procédures, formalisation de règles et routines intégrant le processus créatif;
- Définition d'un modèle sémantique implémentable par des modèles d'exploitation de données intégrant l'expertise des designers (combinaison d'une *ontologie métier* et de *sacs de mots*);
- Définition des processus de catégorisation de l'information et de synthèse visuelle des designers implémentables par des algorithmes de clustering;
- Numérisation partielle de la méthode ATC.

Le modèle computationnel intègre comme données d'entrées les données du web filtrées selon les secteurs d'influence pour aboutir à une BDD de 2 millions d'images (voir figure 16). Ces données sont traitées par différents types de processeurs basés sur le texte ou le contenu d'images (développés respectivement par la société PERTIMM, l'Université de CARDIFF et par l'INRIA). Dans le cas du traitement sémantique, un filtre est appliqué à partir d'*ontologies* et des *sacs de mots*. Dans le cas d'un traitement par contenu de l'image, les différentes signatures visuelles sont utilisées pour appliquer des règles de similarité. Le traitement de l'image a été complété par un dispositif de contrôle de pertinence basé sur une approche statistique et de clustering (SVM).

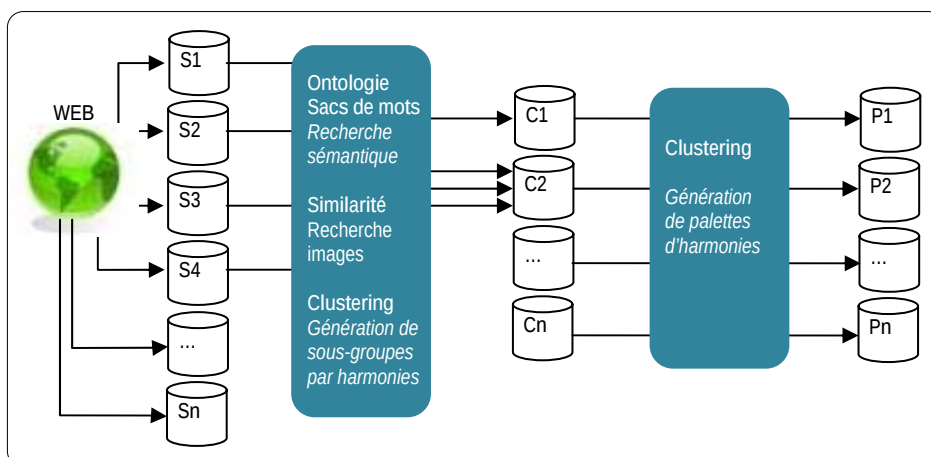


Figure 16: Modèle computationnel de la phase d'information

Le système associé à notre modèle voit sa valeur dans la capacité à relier différents niveaux d'abstraction de l'information et à proposer de nouveaux types de traitement de cette information. Le passage au numérique rend possible le regroupement automatique d'images par harmonies de couleur et la génération automatique de palettes d'harmonies à partir d'algorithmes de clustering utilisant comme filtres des règles d'harmonies. L'application d'ACP sur les adjectifs associés aux images du web permet de réaliser semi-automatiquement un mapping sémantique. Une fonction statistique examine en temps réel le niveau de représentativité d'un mot ou d'une image dans les secteurs en utilisant des règles de similarité ou de présence des mots.

- **Vers de nouveaux formalismes**

Le contenu et la structure de l'information design traitée par le système TRENDS est représentée tableau 4 p75. Cette information a été regroupée par niveaux d'abstraction décroissants, allant de *bas-niveau* (forme, couleur, texture) à *haut-niveau* (sémantique). Les règles d'harmonies peuvent s'appliquer à l'un de ces niveaux seul (harmonies de couleurs) ou à la relation entre différents niveaux (recherche sémantique).

3.5 Formalisation de la phase de génération

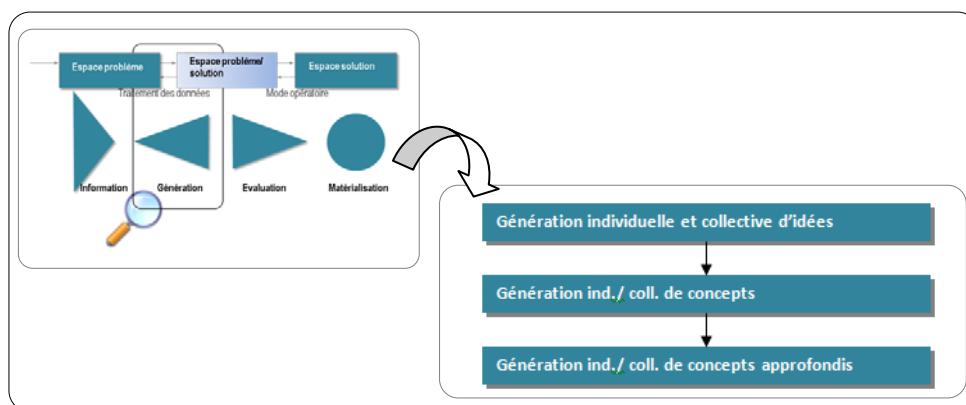


Figure 17: Formalisation de la phase de génération

3.5.1 Objectifs

La formalisation de la phase de génération a débuté lors de la thèse initiale avec une recherche sur la formalisation des étapes de génération d'esquisses. Ont été identifiées des routines qui nous ont conduits à envisager l'élaboration de modèles computationnels de génération de forme liés à cette étape. Nous avons entamé une recherche sur la partie computationnelle dans le cadre du projet GENIUS. Nous avons par ailleurs formalisé les activités de génération collective lors de la génération d'idées et de concepts, grâce à une collaboration industrielle menée dans le secteur automobile depuis 1998. Cette collaboration s'est déroulée avec le département innovation qui a constitué un terrain privilégié pour formaliser le processus de *Développement de concepts* en mettant en exergue les étapes de génération d'idées, génération de concepts et leur approfondissement. Cette formalisation s'est basée concrètement sur des projets d'innovation exploratoires menés en contexte d'ingénierie concurrente multi-métiers. Différentes phases d'audit ont permis d'améliorer progressivement le processus créatif. Une dissémination autour de ces activités nous a permis d'intervenir par la suite auprès des services de marketing prospectif et design exploratoire, en complétant nos actions par l'ATC et par l'évaluation sémantique et émotionnelle. Cette collaboration a constitué le support expérimental de deux thèses. Il est intéressant de noter que la demande industrielle a évolué progressivement vers

des actions conjointes d'assistance aux phases d'information et de génération. Nous avons aussi déployé d'autres méthodologies d'innovation basées sur la créativité dans les secteurs automobile et de l'énergie. L'articulation entre les phases individuelles et collectives dépend essentiellement du type de projet traité, mais aussi de la culture métier et de la culture d'entreprise.

3.5.2 Contributions

Nous avons modélisé les processus de génération individuelle à travers l'activité de génération d'esquisses. Nous avons élaboré un modèle dans le domaine du design automobile [Ri3] (voir figure 48) qui nous a permis de mettre en évidence certaines routines présentes lors de la production d'esquisses. Ce modèle décrit le processus de transformation de l'information selon ses différents niveaux d'abstraction. Concernant les processus de génération collective, nous avons proposé un modèle de processus de créativité optimisé applicable en conception présenté figure 18:

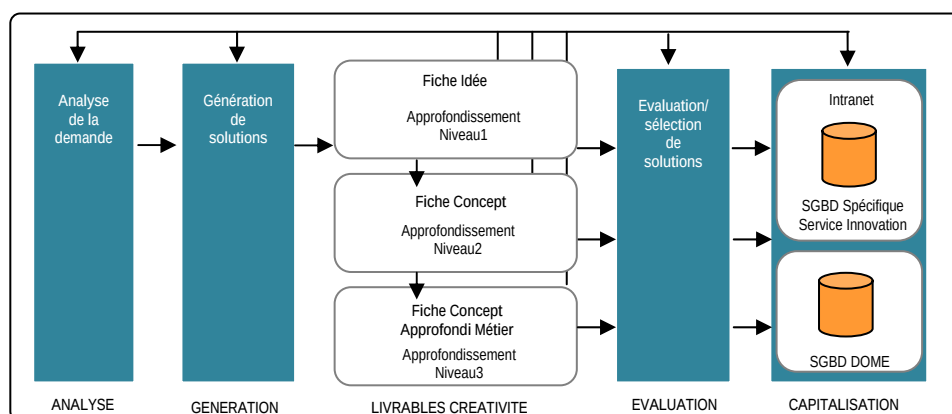


Figure 18: Processus optimisé de créativité appliquée en conception.

Ce modèle formalise des étapes qui interviennent de manière séquentielle au sein d'un processus créatif mettant en œuvre des phases de divergence et de convergence pour aboutir à des concepts approfondis. Ces étapes correspondent à la partie descendante des modèles d'innovation en V, et s'appuient sur la génération de RI nécessaires à la production individuelle et collective d'idées et la synthèse de concepts. Les étapes de génération mettent en œuvre l'utilisation d'outils qui visent à optimiser la créativité de groupe pour finalement aboutir à des résultats suffisamment concrets pour pouvoir être transférés dans des projets de développement. Le système associé est un Système de Gestion de Base de Données supporté par l'Intranet du Service Innovation. Il offre une traçabilité des idées, concepts, concepts approfondis métiers et leur évaluation.

3.6 Computation de la phase de génération : modélisation des processus cognitifs, formalismes et règles

3.6.1 Objectifs

Lors de la thèse initiale, et depuis plus récemment dans le cadre du projet GENIUS, nous avons formalisé en détail les processus cognitifs relatifs à l'activité de génération de concepts à travers la génération individuelle d'esquisses. Ma contribution dans ce projet a porté sur le pilotage du lot *modélisation des processus cognitifs* et l'aide à la définition méthodologique.

3.6.2 Contributions

La formalisation des processus cognitifs des designers dans la phase de génération nous a permis de mettre en évidence des étapes routinières qui pourraient être relayées par des outils supports. Nous avons pu quantifier les différents types d'informations qui entrent en jeu en fonction de leur niveau d'abstraction. Nous avons aussi identifié les règles d'association qui sont mises en œuvre par les designers. Ce type de résultats est un pré-requis pour l'élaboration d'outils d'aide à la génération de forme tels que GENIUS. Nous avons ensuite complété le modèle cognitif par la dimension affective.

3.7 Formalisation de la phase d'évaluation : analyse de la perception et de l'usage en conception amont

3.7.1 Objectifs

De 2000 à ce jour, nous avons développé en parallèle des travaux de recherche sur la phase informationnelle, une réflexion sur les méthodologies d'évaluation liées au RI situées dans les phases amont de la conception (voir figure 19).

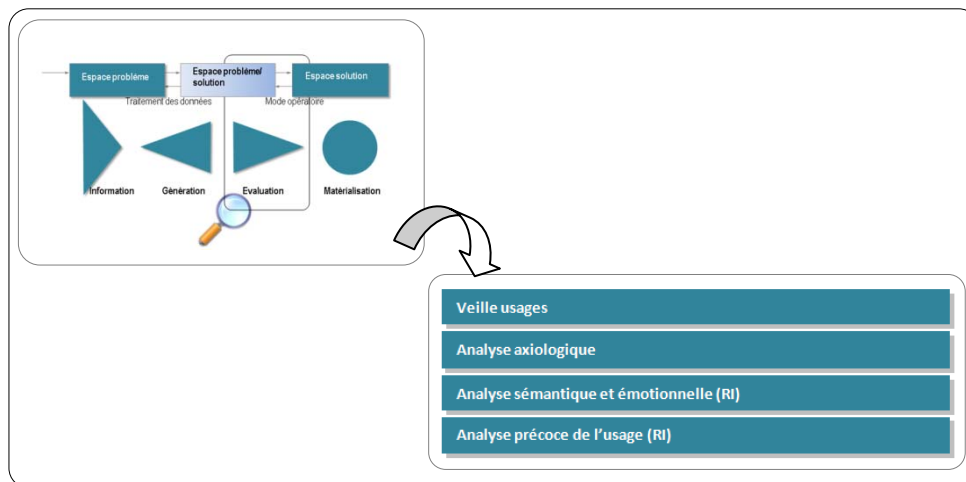


Figure 19: Formalisation de la phase d'évaluation

Cette recherche porte sur le design et l'ergonomie d'interaction et s'applique aux produits ou services en considérant les dimensions perçues aussi bien que l'usage. Elle répond à un objectif de redéfinition des méthodes d'évaluation des RI dans les phases amont afin d'optimiser le processus de conception. Celui-ci peut être enrichi par l'introduction des NTIC tout en s'orientant vers une conception centrée utilisateur et en prenant en compte les processus cognitifs et affectifs qui entrent en jeu dans l'interaction avec les systèmes d'AAC. Dans les débuts de notre recherche, l'évaluation se limitait à une évaluation sémantique, bien que la dimension émotionnelle ait été identifiée comme prépondérante. Plus tard, dans le cadre du projet Européen KENSYS, nous avons élaboré de nouveaux outils d'AAC permettant l'analyse émotionnelle des réactions humaines. Après avoir défini des modèles prédictifs basés sur des mesures cognitives, nous avons intégré en complément des mesures physiologiques. Nous développons actuellement de nouveaux protocoles de mesure émotionnelle afin d'intégrer la mesure physiologique dans nos modèles. Par ailleurs, nous avons développé dans le cadre du projet TVi un modèle méthodologique visant à intégrer l'ergonomie cognitive plus en amont, dans les phases de *Définition du besoin* et de *Développement de concepts*, alors qu'elle intervient habituellement plus en phase de Conception détaillée. Nous nous orientons aujourd'hui vers un design dit d'expérience qui combinera l'ensemble de ces approches. La recherche sur la phase d'évaluation a

été supportée par trois projets de recherche: TVI (projet RNRT), CHIPS (projet européen) et KENSYS (projet européen), qui ont chacun contribué à formaliser l'évaluation de RI en conception amont. Le premier projet, TVi, que nous avons coordonné, nous a permis de redéfinir les méthodes d'évaluation en conception en spécifiant une nouvelle approche de l'ergonomie et de l'usage ouverte vers les autres disciplines. Ce projet a constitué le terrain expérimental de la thèse de D. Lim. Nous avons, en parallèle, participé au projet CHIPS avec la coordination d'un lot qui visait à réaliser un état de l'art sur les NTIC. Les résultats ont été utilisés dans le cadre du projet TVi, pour lequel nous avons dû effectuer une veille constante sur les NTIC. Le troisième projet KENSYS, dont j'ai assuré la coordination au niveau du LCPI, nous a permis d'intégrer la dimension émotionnelle en plus de l'évaluation sémantique, pour faire évaluer des RI de produits ou services. Ce projet a apporté un financement pour la thèse de F. Mantelet. D'autre part, nous avons pu valider en contexte industriel certains outils en particulier dans le secteur automobile.

3.7.2 Contributions

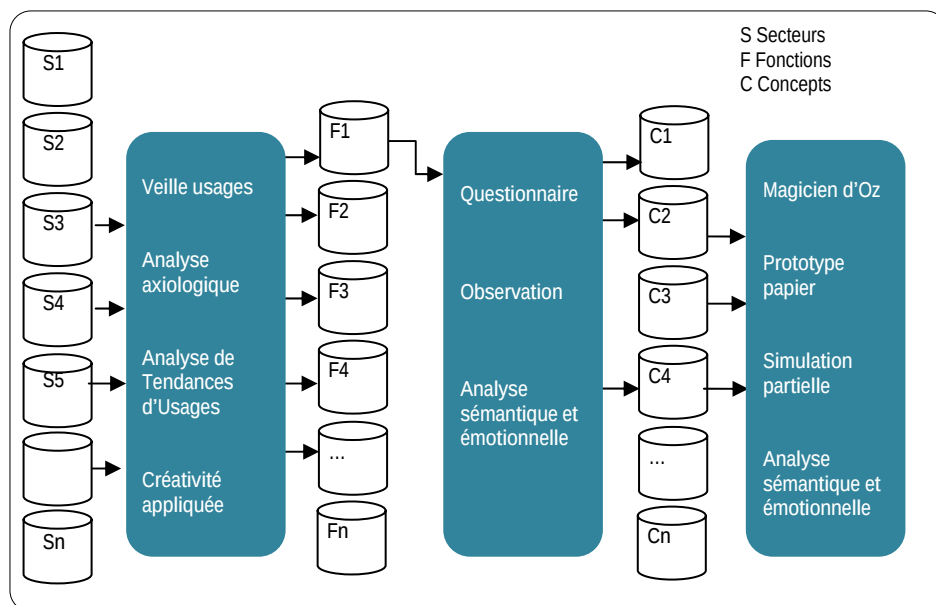


Figure 20: Modèle théorique de la phase d'information

Ces travaux de recherche nous ont conduits à la définition d'un modèle méthodologique adapté au design d'expérience dans la mesure où il propose des outils d'évaluation précoces des RI en considérant les dimensions perceptuelles, cognitives et affectives inhérentes à l'interaction entre le produit ou service et l'utilisateur. Ce modèle méthodologique spécifique aux phases amont offre la possibilité d'évaluer des RI précoces (planches de tendances, prototypes papier, ...) selon les dimensions axiologique, Kansei (sémantique, sensoriel, émotionnel), d'utilité et d'utilisabilité. Il est à la fois adapté aux produits-services disposant d'interfaces numériques interactives et aux produits à image forte en fusionnant les points de vue de l'ergonomie et du design. Selon notre modèle, l'évaluation seule n'est pas suffisante pour aboutir à une conception innovante et centrée utilisateur. Ainsi l'ergonome peut intervenir de manière pro-active dès les phases amont lors des actions de veille afin d'analyser les tendances d'usage tout en menant une analyse axiologique sur les populations cibles. D'autre part, l'évaluation sémantique des RI est insuffisante pour déduire une interprétation qui permette d'établir des spécifications pour la conception. Pour ce faire, elle doit s'accompagner d'une analyse de ressenti émotionnel, et d'une définition axiologique du profil des consommateurs.

3.8 Computation de la phase d'évaluation : analyse de la perception et de l'usage en conception amont

3.8.1 Objectifs

L'évaluation expérientielle des RI dans les phases amont comprend une analyse de la perception selon les dimensions du Kansei (axiologique, sémantique, sensorielle, et émotionnelle), ainsi qu'une évaluation de l'utilité et de l'utilisabilité des dispositifs d'interaction ou interfaces. Les méthodes qui réalisent ces évaluations s'appuient sur différentes approches de recueil et de traitement des données. L'inconvénient de ces évaluations est qu'elles sont généralement coûteuses en temps et que leur application n'est pas reproductible. Notre finalité a donc été de rendre automatique certaines étapes du traitement de l'information relative à l'évaluation des RI en proposant des algorithmes adaptés. Dans le cadre de l'analyse de la perception des RI, nous avons expérimenté et validé les outils de recueil basés sur le questionnaire et l'annotation afin d'établir des algorithmes issus d'approches statistiques (ACP, CAH, régressions). Ces outils basés sur des mesures cognitives offrent la possibilité de quantifier l'ensemble des dimensions du Kansei face à des stimuli design. Cependant ils nécessitent de faire appel à des panels conséquents. Nous avons en parallèle exploré l'apport d'algorithmes de clustering pour traiter des données expertes avec un nombre restreint de participants. Ces algorithmes répondent bien au traitement de données incomplètes et dont le nombre d'occurrences est limité. Afin de passer à une dimension plus expérientielle, nous étudions en complément les moyens de mesure physiologique (*conductance dermique, eye tracking, fréquence cardiaque*). Concernant les mesures relatives à l'utilité et l'utilisabilité, nous avons validé l'apport de l'analyse de traces (*logs*) associés à des tâches spécifiques afin de compléter les modèles utilisateurs.

3.8.2 Contributions

Dans le cadre du projet Kensys, nous avons mené une première expérimentation ayant pour objet la computation partielle de la phase d'évaluation sur la base de l'évaluation sémantique de RI de produits. Il s'est agi de traiter les résultats de manière statistique en appliquant une ACP suivie d'analyses de régressions. De ces analyses il est possible de déduire un algorithme qui appliquera la même évaluation selon les mêmes critères à d'autres données d'entrée, soit ici à d'autres RI de produits. L'algorithme permet ainsi d'opérer une évaluation automatique de solutions design en proposant des règles de conception.

3.9 Vers un méta-modèle d'ingénierie Kansei

3.9.1 Objectifs

Notre objectif est de modéliser les phases de conception amont pour élaborer de nouveaux outils d'AAC en accord avec les modes de raisonnement des concepteurs. Cette modélisation passe par une analyse des processus cognitifs des concepteurs pour exprimer des données et règles jusque là non explicitées, et pour extraire des routines qui donneront lieu à des algorithmes support pour le développement de nouveaux outils numériques d'AAC permettant de générer, visualiser ou évaluer rapidement de nombreux modèles intermédiaires. L'introduction progressive de ces outils vise à numériser le processus de conception dans son ensemble, en pouvant produire ou évaluer de manière semi-automatique, à des moments clés, les RI nécessaires à l'optimisation du processus de conception. Ces RI constituent des modèles visualisables et transformables pour une communication ou une matérialisation rapide afin d'aboutir à une chaîne numérique amont.

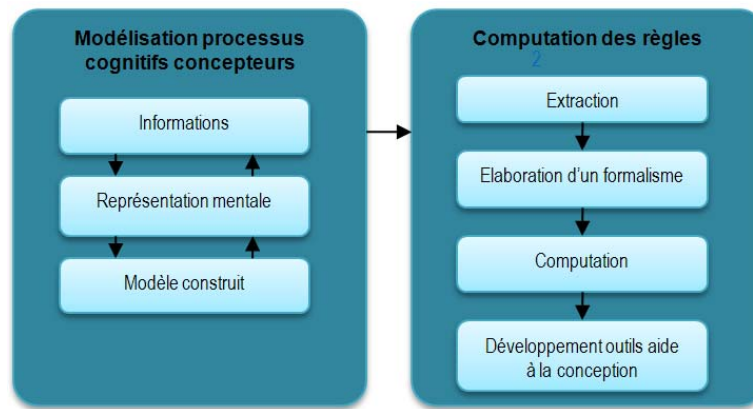


Figure 21: Méthode de recherche

La formalisation et la computation constituent les fondements pour l'élaboration d'un méta-modèle unique qui intégrera les trois phases du cycle le plus amont. Le positionnement en conception amont situe notre recherche dans le domaine du Kansei Design. De nombreux travaux issus de ce domaine visent à élaborer des systèmes computationnels dédiés aux phases amont de la conception. L'ingénierie Kansei établit des règles computationnelles liées à l'expertise design qui sont utilisées de manière pro-active pour automatiser les phases d'évaluation et de génération dans un même système. La plupart de ces recherches porte sur les phases de génération et d'évaluation. La pauvreté des systèmes d'ingénierie Kansei en information, due au caractère statique des bases de données, constitue actuellement l'une des principales limites. Dans le cadre du projet TRENDS, nous avons levé ces verrous. Les perspectives consisteront à intégrer cette phase au sein des systèmes d'ingénierie Kansei. En effet, dans la réalité la génération de formes réalisée par les designers fait appel à des inspirations riches qui impactent le processus créatif. La thématique de l'ingénierie Kansei a été développée au sein de plusieurs projets de recherche tels que les projets KENSYS et TRENDS et *via* des collaborations industrielles dans le secteur automobile.

3.9.2 Contributions

Une investigation internationale sur les méthodologies d'ingénierie Kansei a montré que ces approches s'appuient souvent sur une évaluation sémantique traitée ensuite par des outils statistiques classiques. A plus long terme, ces méthodes seront complétées par des mesures physiologiques. D'autre part, le Kansei devrait pouvoir être utilisé comme support à la créativité, pas uniquement comme moyen de mesure. Les avancées de recherche que nous avons apportées concernent plusieurs aspects.

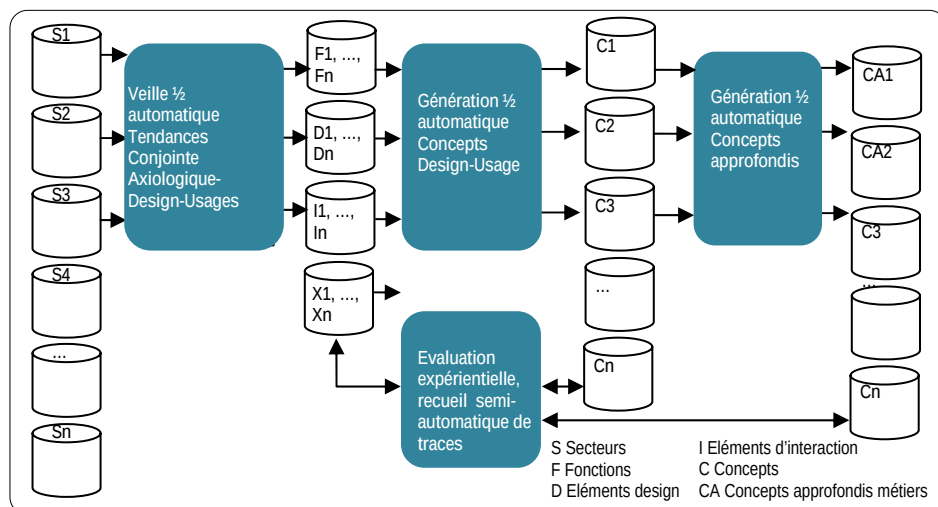


Figure 22: Méta-modèle d'ingénierie Kansei

Premièrement, les systèmes actuels ne prennent pas en compte la phase d'information. Dans le cadre du projet TRENDS, nous avons proposé un système capable d'alimenter les bases de données en informations design. Des RI prospectives sur les tendances peuvent être évalués au même titre que les RI de produit pour établir les règles de conception et recueillir les réactions des consommateurs avant la *Définition des concepts*. Deuxièmement, plusieurs apports ont été formalisés dans le cadre du projet KENSYS. Nous avons élaboré un outil de mesure émotionnelle qui complète l'analyse sémantique classique (thèse de F. Mantelet) et qui s'applique à différents types de RI ou à différents secteurs. Nous avons enrichi cet outil par un complément d'analyse des préférences et des valeurs des consommateurs. La prédictivité des valeurs sociologiques sur les réactions émotionnelles vis-à-vis d'une sémantique spécifique a été démontrée. La connaissance des valeurs auxquelles adhèrent les consommateurs peut ainsi aider dans la définition de spécifications sémantiques et dans l'implémentation de systèmes AAC capables de proposer des orientations design sur la base de règles reliant ces valeurs à des éléments design. Dans le cadre d'un dispositif d'ingénierie Kansei, des harmonies bas-niveau peuvent être extraites à partir des supports tendances et mises en correspondance directement en fonctions des valeurs des consommateurs. Ces harmonies peuvent alors être intégrées dans la génération de nouvelles solutions. Des différences notables sont apparues dans les réactions émotionnelles et les évaluations sémantiques de répondants européens en fonction du pays d'origine. Troisièmement, une investigation sur les grandes classes d'algorithmes potentiels pour automatiser en partie des étapes de catégorisation a été menée. Finalement, nous nous sommes orientés vers des algorithmes de clustering qui présentent l'avantage de pouvoir modéliser de l'information experte sans faire appel à des panels lourds. Ils sont en ce sens particulièrement adaptés à la formalisation de règles autour d'informations incomplètes et floues. Ils permettent notamment d'établir une correspondance entre des attributs sémantiques et des paramètres design en recueillant directement l'information auprès d'un panel restreint d'experts. Il existe aussi dans la littérature des algorithmes de type réseaux de neurones qui sont employés pour l'évaluation de modèles de produits, et la génération automatique de formes. L'évaluation se base sur une formalisation de la relation entre la forme du produit et la sémantique perçue à partir d'une description paramétrique du produit.

3.10 Bilan

La recherche décrite ici a donné lieu à l'élaboration de modèles théoriques relatifs à la formalisation et à la computation des phases amont de la conception. Ces modèles orientés vers les théories du Kansei ont permis de décliner des outils méthodologiques qui ont été expérimentés et validés dans l'industrie dans le cadre de masters recherche ICI. Ces outils sont spécifiques à chaque entreprise. En effet le degré de maturité de chacune vis-à-vis de la thématique du Kansei Design est différent. Le schéma de synthèse présenté page 6 montre une vision d'ensemble de notre activité de recherche. Sur ce schéma, nous constatons que la recherche menée initialement a porté sur la modélisation du processus de design automobile en réponse à une problématique à la fois scientifique et industrielle. Cette recherche a permis d'établir un modèle théorique de processus de conception amont (design) construit à partir d'une analyse des activités cognitives des designers. L'originalité du modèle repose sur le fait qu'il se positionne en conception amont en retraçant l'espace problème, l'espace solution, les représentations mentales, les représentations explicites et les phases de divergence et de convergence. La formalisation des processus cognitifs dans la phase d'information a abouti à l'élaboration de la méthode ATC qui a été validée en milieu industriel, majoritairement avec des constructeurs et équipementiers automobiles français. Cette phase de validation a soulevé de nouvelles questions relatives à la complémentarité des phases d'information, de génération et

d'évaluation. Elle a aussi fait ressortir la nécessité d'élaborer un outil computationnel de recherche d'information. Notre recherche s'est peu à peu orientée vers le domaine du Kansei grâce à un terrain expérimental riche, avec la coordination ou la contribution à des projets de recherche co-financés par la Commission Européenne (projets CHIPS, KENSYS, TRENDS), le Ministère de la Recherche (projets TVI, GENIUS), ou encore des projets de recherche. Ces projets de recherche ont permis le financement de nombreuses thèses et projets de Master recherche en Ingénierie, Conception et Innovation.

3.11 Détail de la production scientifique

3.11.1 Chapitres d'ouvrages de synthèse internationaux

- [Chi1] **BOUCHARD C.**, 2006 in CORSI P. & al, Innovation Engineering, the power of intangible networks, KINNSYS, Brussels Belgium, Edition Hermès, France ISBN: 9781905209552, Publication Date: September 2006, Hardback 448 pp.
- [Chi2] SOLVES C.; SUCH M.J., GONZALES J.C., PEARCE K., **BOUCHARD C.**, GUTIERREZ J., PRAT J., GARCIA A.C., Validation study of Kansei Engineering methodology in footwear design, Contemporary Ergonomics, Editor Philip D. Bust, Taylor and Francis, The Ergonomics society, ISBN 0415398185, 2006.
- [Chi3] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Trends Integration Process as Input Data for Kansei Engineering Systems, p 1204 (12 pages), Soft Computing As Transdisciplinary Science And Technology: Proceedings of the Fourth IEEE International Workshop WSTST '05, Author(s): Abraham Ajith; Dote Yasuhiko; Furuhashi Takeshi; Koppen Mario; Ohuchi Azuma; Ohsawa Yukio, ISBN: 3540250557, Publisher: Springer Verlag. 2005
- [Chi4] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Analysis of the correlation between words and design elements for the generation of a Kansei Engineering System, p 1183 (12 pages), Soft Computing As Transdisciplinary Science And Technology: Proceedings of the Fourth IEEE International Workshop WSTST '05, Author(s): Abraham Ajith; Dote Yasuhiko; Furuhashi Takeshi; Koppen Mario; Ohuchi Azuma; Ohsawa Yukio, ISBN: 3540250557, Publisher: Springer Verlag. 2005.

3.11.2 Chapitres d'ouvrages de synthèse nationaux

- [Chn1] **BOUCHARD C.** in B. YANNOU, H. CHRISTOFOL, D. JOLLY, N. TROUSSIER, eds. La conception industrielle de produits. Volume 3: Ingénierie de l'évaluation et de la décision. Paris Hermès, 2008.

3.11.3 Revues internationales avec comité de lecture

- [Ri1] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., SOLVES C., GONZALEZ J. C., PEARCE K., COLEMAN S., A European emotional investigation in the field of shoes design, International Journal of Product Development, Special Issue on Kansei Engineering and Emotional Design, Volume 7, Number 1-2 , pp3-27, 2009.
- [Ri2] MOUGENOT C., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Inspiration, images and design, a field investigation of information retrieval strategies by designers, Journal of Design Research, Volume 7, Number 4 , 2008.
- [Ri3] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., DUCHAMP R., Role of sketching in conceptual design of car styling, Journal of Design Research, Vol 5. N°1, ISSN 1569-1551, Inderscience, September 2006, pp116-148.
- [Ri4] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Iterative process of design and evaluation of icons for menu structure of interactive TV series, Behaviour and Information Technology, Vol. 25 N°6 (8220), ISSN 0144-929X, Taylor & Francis, December 2006, pp511-519.
- [Ri5] **BOUCHARD C.**, CAMOUS R., AOUSSAT A., Nature and role of intermediate representation (IR) in the design process: case studies in car design, International Journal of Vehicle Design, Vol. 38 N°1, ISSN 0143-3369, 2005, pp1-25.
- [Ri6] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Modélisation of the car design process, International Journal of Vehicle Design, Vol. 31. N°1, ISSN 0143-3369, Inderscience publisher, 2003, p1-10.
- [Ri7] **BOUCHARD C.**, LIM D., AOUSSAT A., Development of a KANSEI ENGINEERING SYSTEM for Industrial design - Identification of input data for KES, Journal of the Asian Design International Conference, Vol.1, 2003, ISSN 1348-7817, 12 pages.
- [Ri8] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Integration and optimization of Kansei engineering in the process of design of new products, Journal of the Asian Design International Conference, Vol.1, 2003, ISSN 1348-7817, 10 pages.
- [Ri9] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Definition of new services for the Interactive television, Journal of the Asian Design International Conference Vol.1, 2003, ISSN 1348-7817, 10 pages.
- [Ri10] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Design process perceived as an information process to enhance the introduction of new tools, International Journal of Vehicle Design, Vol 31.2, ISSN 0143-3369, Inderscience publisher, 2002, P162-175.

3.11.4 Revues nationales avec comité de lecture

- [Rn1] VERHEE P., **BOUCHARD C.**, BAE J. S., VAN HANDENHOVEN E., Car systems building process by car manufacturers, International Journal Of Design and Innovation Research, Volume 1 N°2, November 1998, p 5-11.

3.11.5 Colloques internationaux

- [Ci1] KIM J.E., **BOUCHARD C.**, OMHOVER J.F., AOUSSAT A. (2010). Design information in the early design process: cognition and computation, DCC2010, GERMANY , 10-14, July, 2010.
- [Ci2] KONGPRASERT N., BRISSAUD D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., BUTDEE S., Contribution to the mapping of customer's requirements and process parameters, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010 Conference, Paris, France, 2010.
- [Ci3] TANGCHAIDEE K., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., BUTDEE S., Brand identity adjustable to redesign by using similarity matching for lady fashion shoes, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010 Conference, Paris, France, 2010.
- [Ci4] LESOT MJ., **BOUCHARD C.**, DETYNIECKI M., OMHOVER JF., (2010). Product Shape and Emotional Design, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010 Conference, Paris, France.
- [Ci5] OMHOVER JF., **BOUCHARD C.**, JIEUN K., AMEZIANE A., Computational Methods for Shape Manipulation in Generation, A literature review, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010 Conference, Paris, France, 2010.
- [Ci6] KIM J.E., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A. (2010). Emotional Impact on designer's cognitive process in the early stages of design, KEER2010 Conference.
- [Ci7] **BOUCHARD, C.**, KIM, J., AOUSSAT, A., (2009). Kansei Information Processing in Design, In proceeding of IASDR 2009.
- [Ci8] KIM J., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A. et al., (2009). A study on designer's mental process of information categorization in the early stages of design, In proceeding of IASDR 2009.
- [Ci9] KONGPRASERT N., BRISSAUD D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., BUTDEE S., The customer-oriented bag matrix to support the design leather bags , 42nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, 3-5 June 2009.
- [Ci10] KONGPRASERT N., BRISSAUD D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., BUTDEE S., How To Design And Process Brand Identity Thesquise An Integrated Innovative Approach, International Conference On Industrial Engineering And Engineering Management, Singapore 8-11 December 2008
- [Ci11] SETCHI R., TANG Q., **BOUCHARD C.**, Concept indexing of images using generic and domain-specific ontologies, KES International Conference on Knowledge-Based and Intelligent information and Engineering systems, 2010.
- [Ci12] OMHOVER J.F., **BOUCHARD C.**, BERECIARTUA A., LOGEROT G., HOUISSA H., AOUSSAT A., TRENDS: image indexing and retrieval for car designers, Seventh International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing, Chania, Crete, Greece 3-5th June 2009.
- [Ci13] OMHOVER J.F., **BOUCHARD C.**, MOUGENOT C., MANTELET F., ZIAKOVIC D., AOUSSAT A., Supporting categorization in design thesquisse a semi-automatic classification tool, elaboration of a digital tool (trends) for supporting images categorization, Third International Conference On Design Computing And Cognition (Dcc'08), 23–25 June 2008, Georgia Institute Of Technology, Atlanta, USA.
- [Ci14] MOUGENOT C., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., A framework for the qualitative evaluation of images influence on product design creativity, Third International Conference On Design Computing And Cognition (Dcc'08), 23–25 June 2008, Georgia Institute Of Technology, Atlanta, USA.
- [Ci15] KIM J.E., **BOUCHARD C.**, OMHOVER J.F., AOUSSAT A. (2008). How do designers categorize information in the generation phase of the creative process?, CIRP conference, Cranfield.
- [Ci16] KIM J.E., **BOUCHARD C.**, OMHOVER J.F., AOUSSAT A. (2008). State of the art on designers' cognitive activities and computational support with emphasis on information categorisation. EKC2008 Proceedings of the EU-Korea Conference on Science and Technology, Yoo, S.-D. (Ed.), Springer Proceedings in Physics, vol. 124, pp.355-363.
- [Ci17] BERECIARTUA A., **BOUCHARD C.**, OMHOVER JF., FERECATU M., HOUISSA H., GANDON F., LOGEROT G., A New Semantic Text-Image Search Engine For Car Designers, Sixth International Workshop On Content-Based Multimedia Indexing, 18-20th June, 2008, London, UK.
- [Ci18] **BOUCHARD C.**, OMHOVER JF., MOUGENOT C., AOUSSAT A., WESTERMAN S., Trends: A Content-Based Information Retrieval System For Designers, Third International Conference On Design Computing And Cognition (Dcc'08), 23–25 June 2008, Georgia Institute Of Technology, Atlanta, USA.
- [Ci19] OMHOVER J.F.O., **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Formalizing design rules appearing in early design: an application of agglomerative clustering, ICED 2007, 16th International Conference on Engineering Design, Paris, August 28th-31st 2007
- [Ci20] **BOUCHARD C.**, MOUGENOT C., OMHOVER JF., AOUSSAT A., A Kansei based information retrieval system based on the Conjoint Trends Analysis method, International Association of Societies of Design Research, IASDR 2007, Hon-Kong, Design Research Society, 11-15 November 2007.
- [Ci21] EALES R., SETCHI R., **BOUCHARD C.**, Semantic-based approach to developing concepts in the automotive industry, I*Prom Virtual Conference, July 2007.
- [Ci22] MOUGENOT C., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Creativity in design-How designers build mental images, IASDR 2007, Hon-Kong, Design Research Society, 11-15 November 2007.

- [Ci23] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Prise en compte de la perception émotionnelle des consommateurs au sein du processus de conception de produits innovants, 7^{ème} congrès de Génie Industriel, 5-8 Juin 2007-04-25 Trois rivières, Québec, Canada
- [Ci24] MOUGENOT C., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., A Study of Designers Cognitive Activity in Design Informational Phase, ICED 2007, 16th International Conference on Engineering Design, Paris, August 28th-31st 2007
- [Ci25] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., ZIAKOVIC D., SETCHI R., TANG Q., AOUSSAT A., Building a design ontology based on the Conjoint Trends Analysis, I*Prom Virtual Conference, July 2007
- [Ci26] **BOUCHARD C.**, MOUGENOT C., OMHOVER J.F.O., MANTELET F., SETCHI R., TANG Q., AOUSSAT A., Building a domain ontology for designers: towards a Kansei based ontology, I*Prom Virtual Conference, July 2007
- [Ci27] WESTERMAN S.J., KAUR S., MOUGENOT C., SOURBE L., **BOUCHARD C.**, The impact of computer-based support on product designers' search for inspirational materials, I*Prom Virtual Conference, July 2007
- [Ci28] OMHOVER J.F.O., S.J., KAUR S., MOUGENOT C., SOURBE L., **BOUCHARD C.**, How to build a web-based image collection adapted to the needs of the car designers, I*Prom Virtual Conference, July 2007
- [Ci29] MOUGENOT C., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Fostering innovation in early design stage: a study of inspirational process in car design companies, Wonderground 2006, Design Research Society International Conference Lisbon, 1-5 November 2006.
- [Ci30] KAUR S., WESTERMAN S.J., MOUGENOT C., SOURBE L., **BOUCHARD C.**, Computer-based support for creativity in industrial design, Poster presented at the First International Symposium on Culture, Creativity, and Interaction Design., London, UK, Sept. 2006.
- [Ci31] DUBOIS P., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., COULON S., 2006, Analysing the correspondence between designers needs for intermediate representations in a multi-domain context and the new technologies in representation and rapid prototyping, 6th IDMME CONFERENCE, Grenoble, France.
- [Ci32] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Cross countries comparison of results ambience evaluation in early design, 6th international Conference on Computer Aided Industrial Design & Conceptual Design, Delft University, 30 Mai-1June 2005, 6p.
- [Ci33] MANTELET Fabrice, **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Analysis of the correlation between words and design elements for the generation of a Kansei Engineering System, International Design Congress IASDR 2005 Taiwan.
- [Ci34] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Trends integration in Kansei Engineering, 6th international Conference on Computer Aided Industrial Design & Conceptual Design, Delft University, 30 Mai-1June 2005, 6p.
- [Ci35] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Semantic structure as input data for Kansei Engineering Systems, International Design Congress IASDR 2005 Taiwan.
- [Ci36] **BOUCHARD C.**, DUCHAMP R. AOUSSAT A., Creativity, Innovation and Learning, Proceedings of the second CHIPS Workshop, Rédaction des Actes et Synthèse, ENSAM PARIS, 27th January 2003, 180 p.
- [Ci37] ROUSSEL B., **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., AUVRAY L., Ergonomics and product design trends: how to anticipate future usages, ICED 01 GLASGOW, AUGUST 21-23, 2001, 9p
- [Ci38] **BOUCHARD C.**, LIM D., AOUSSAT A., Integration of consumer / users specifications in the design process, International Conference for Universal Design, 29 Nov – 3 Dec 2002, Yokohama, Japan 137 p.
- [Ci39] **BOUCHARD C.**, STOELTZLEN N., AOUSSAT A., Applied creativity : role of the inter-individual communication and contribution of graphic realizations, EACI Enschede, Netherlands, December 2001, 10p.
- [Ci40] STOELTZLEN N., MINEL S., **BOUCHARD C.**, MILLET D., AOUSSAT A., Material instrumentation: different point of views cristallization in the multi-trade products design, a visual and tactile field application, ASME Pittsburg, PA, SEPTEMBER 9-12, 2001, 8p.
- [Ci41] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., State of the art review on user interface design of consumer electronic products: the integration of cognitive science into the design process, ICED 01 GLASGOW, AUGUST 21-23, 2001, 9p
- [Ci42] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Computerization of the earliest stages in the design process, Laval Virtual, May 2000.
- [Ci43] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Computer Aided Design evolutions in car design process, September, CSCWD, Université de Compiègne, 1999.
- [Ci44] **BOUCHARD C.**, 1996, Computer-aided design for car building process, CADE'96 Postgraduate Conference, Coventry University Transport Design Session, 10 p.
- [Ci45] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., 2000, Modélisation du processus de design automobile, Congrès International de Génie Industriel GI5 IDMME 2000, Montréal.
- [Ci46] **CHRISTOFOL H.**, ROUSSEL B., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., 2000, Analogue reasoning, a foundation of the technologic, stylistic, and ergonomic creativity, Congrès International de Génie Industriel GI5 IDMME 2000, Montréal 10 p.
- [Ci47] **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., AOUSSAT A., AUVRAY L., ROUSSEL B., How to anticipate trends and integrating trends into industrial design, International Conference on Engineering Design, Munich, August 24-26, 1999.
- [Ci48] **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., AOUSSAT A., ROUSSEL B., 1999, New processes of awareness in engineering design, Congrès International de Génie Industriel GI5, Montréal 10 p.

- [Ci49] **BOUCHARD C.**, CAILLEAUX A. M., 1996, Nouveaux modèles de management par projets dans l'univers constructeurs/équipementiers automobiles, Congrès International de Génie Industriel GI5, Montréal.
- [Ci50] **BOUCHARD C.**, 1996, Computer-aided design for car building process, CADE'96 Postgraduate Conference, Coventry University Transport Design Session, 10 p.
- [Ci51] **BOUCHARD C.**, CAILLEAUX A. M., TRASSAERT P., VAN HANDENHOVEN E., 1994, Engineering and design: The difficulty of linking a technical environment with analogical matter, ICED 1995, PRAHA, August 22 - 24, 1995, 6 p.

3.11.6 Colloques nationaux avec comité de lecture

- [Cn1] (*in press*) KIM J.E., **BOUCHARD C.** OMHOVER J.F., AOUSSAT A. (2010). Design information in the early design process: cognition and computation, DCC2010, GERMANY , 10-14, July, 2010
- [Cn2] KIM J.E., **BOUCHARD C.** OMHOVER J.F., AOUSSAT A. (2010). TRENDS: A content-based information retrieval system for designers, SIGGRAPH, USA, JULY, 2010.
- [Cn3] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Prise en compte de la perception émotionnelle des consommateurs au sein du processus de conception de produits innovants, 7^{ème} congrès de Génie Industriel, 5-8 Juin 2007-04-25 Trois rivières, Québec, Canada
- [Cn4] DUBOIS P., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., COULON S., Analysing the correspondence between designers needs for intermediate representations in a multi-domain context and the new technologies in representation and rapid prototyping, 6th IDMM CONFERENCE, Grenoble, France, du 17 au 19 May 2006, 10 pages.
- [Cn5] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Prise en compte de la perception des utilisateurs dans la conception de produit en analysant la corrélation entre les descripteurs sémantiques et les éléments formels du produit, Colloque PRIMECA AIM La Plagne, 3-4-5 Avril 2005.
- [Cn6] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Projet Télévision Interactive, Colloque RNRT 2002, Grenoble, France, 06/02/02-07/02/02
- [Cn7] STOELTZLEN N., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Modélisation des flux informationnels relatifs à l'analyse de tendances formelles en conception de produits nouveaux, IDMM 2002, Clermont-Ferrand, 9p.
- [Cn8] GROFF A., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Optimisation de l'innovation dans l'industrie automobile via l'élaboration d'un processus de créativité industrielle, CPI Mèkès, Novembre 2003, 10p.
- [Cn9] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Evolution des outils informatiques de modélisation dans le processus de conception automobile, Colloque PRIMECA AIM La Plagne, 3-4-5 Avril 2001.
- [Cn10] CHRISTOFOL H., **BOUCHARD C.**, ROUSSEL B., RICHIR S., TARAVEL B., « Des valeurs humaines à la valeur du produit : méthodes de l'innovation collaborative dans les phases préliminaires du processus de conception », ISTIA ENSAM ENSGSI, Congrès AFAV 2001, Valeur Management et innovation, Paris 6-7 Novembre 2001.
- [Cn11] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., « Travail de l'ergonome cognitiviste dans une équipe pluridisciplinaire en amont du processus de conception des produits électroniques grand public », Conférence IHM-HCI 2001 Lille, 10-14 Septembre 2001
- [Cn12] LIM D., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., « Etat de l'art concernant le design d'interfaces homme-machine : de la machine complexe au produit grand public », Congrès l'homme et la machine intelligente, 20-21-22 Mars 2001
- [Cn13] ROUSSEL B., AUVRAY L. , **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., L'analyse de Tendance Conjointes comme aide à l'innovation dans une démarche d'ingénierie concurrente, Séminaire Annuel organisation, Innovation et International, 24-29 Janvier 2000, Compiègnes.
- [Cn14] **BOUCHARD C.**, TRASSAERT P., CHRISTOFOL H., ROUSSEL B., AOUSSAT A., Système d'information et co-conception automobile, Conférence PRIMECA, Nantes 1998, 14 p.
- [Cn15] **BOUCHARD C.**, TRASSAERT P., 1997, Conduite inter-organisationnelle et système d'information : management réseau par le systémier automobile dans le cadre d'une co-conception, CIMRE Strasbourg, 20 p.
- [Cn16] **BOUCHARD C.**, CAILLEAUX A. M., TRASSAERT P., VAN HANDENHOVEN E., 1994, Engineering and design: The difficulty of linking a technical environment with analogical matter, ICED 1995, PRAHA, August 22 - 24, 1995, 6 p.

3.11.7 Rapports de projets de recherche et de fin de contrats

- [Rc1] **BOUCHARD C.**, KIM J., MOSCARDINI L., OMHOVER J.F.O., CHEVALIER A., Livrable D7., Formalisation du processus cognitif des designers, Projet ANR GENIUS, Novembre 2009.
- [Rc2] **BOUCHARD C.**, KIM J., OMHOVER J.F.O., LESOT M.J., Livrable D2., etat de l'art systèmes, Projet ANR GENIUS, Novembre 2009.
- [Rc3] **RAPPORTS SCIENTIFIQUES DU PROJET EUROPÉEN TRENDS** édités en 2006-2007 :
D1.1 - List of user specifications, D1.2 - List of usage issues with current Design Systems, D1.3 - Market analysis for new design software, D1.4 - List of Functional Specifications, D1.5 - Specification Validation Results, D2.1 - Design and innovation database, images and words database, D2.2 - Procedure for the extraction of sociological and design trends theses the web, D2.3 - Procedure for statistics realization, D2.4 - First version of graphic interface, D2.4 - First version of the graphic interface and its description, D2.5 - System infrastructure, D2.6 - User test protocol, D2.7 - List of

design and ergonomics specifications, D2.8 - Validation results, MD1 - Méta-livrable 1. <http://www.trendsproject.org> (Accessed 01 June 2009).

- [Rc4] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Rapport Scientifique Projet KENSYS (Development, implementation and dissemination of a new methodology for User-centred products design using Product semantics and Kansei Engineering), 2003-2006. D1.a Procedure to integrate users, user's resources, list and database of resources to obtain users and semantic words and images.
- [Rc5] **BOUCHARD C.**, LIM D., AOUSSAT A., Projet TVI (RNRT, LIMSI CNRS, MEDIALIVE): Télévision interactive intégrant la technologie SAB (Screen Access Box) : anticipation des futurs services et évaluation ergonomique d'une interface de navigation multimodale, 2001-2003.
- [Rc6] **BOUCHARD C.**, Société Peugeot Citroën Automobiles, Analyse Benchmarking: évaluation sémantique et émotionnelle d'une gamme de véhicules de loisirs, Décembre 2007.
- [Rc7] **BOUCHARD C.**, STOELTZLEN N., Société Peugeot Citroën Automobiles, Créativité appliquée à la recherche de solutions pour un nouveau châssis modulaire, Juillet 2001.
- [Rc8] MANTELET F., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Société Peugeot Citroën Automobiles, Veille multi-sectorielle en vue d'explorer la potentialité de nouvelles solutions de dispositifs d'affichage sur les tableaux de bord automobiles, sur la base d'un processus créatif, Avril 2007.
- [Rc9] COMTE M., BUISINE S., **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Société Elyo, Analyse, modélisation et développement d'une nouvelle interface home-machine pour un dispositif d'analyse de la maintenance de chaufferie, Mai 2005.
- [Rc10] **BOUCHARD C.**, AUVRAY L., Société Peugeot Citroën Automobiles, Projet Axones phase 2, Valorisation de nouvelles prestations By Wire dans le poste de conduite automobile - Approfondissement, Juin 2002.
- [Rc11] **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., AUVRAY L., Société Peugeot Citroën Automobiles, Habitacle du futur - Ambiance Intérieure, Développement de 3 démonstrateurs du projet DE VINCI, définition de spécifications technico-formelles – accompagnement dans leur intégration au cours du processus de conception ", Février 2001
- [Rc12] **BOUCHARD C.**, CHRISTOFOL H., AUVRAY L., Société Peugeot Citroën Automobiles, Développement de supports de synthèse Valeurs/Activités/Produits en vue de la définition conceptuelle de l'après 4x4, Décembre 2000
- [Rc13] **BOUCHARD C.**, DUBOIS P., Société Valéo Thermique Habitacle, Projet Intérieur 2002, Veille Technologique appliquée à la conception des intérieurs automobiles, Réalisation d'un Démonstrateur du Système Diffusion Douce appliqué au modèle Mercedes Classe A par l'application d'un procédé de décoration de surface en prototypage rapide, Avril 1999
- [Rc14] **BOUCHARD C.**, AUVRAY L., CHRISTOFOL H., Société Peugeot Citroën Automobiles, Habitacle du futur - Ambiance Intérieure, Recherche méthodologique : formalisation d'une démarche de Conception d'un nouvel habitacle automobile de concept car, Décembre 1999
- [Rc15] **BOUCHARD C.**, AUVRAY L., CHRISTOFOL H., ROUSSEL B., Société Valéo Thermique Habitacle, Projet Intérieur 2002, Veille technologique appliquée à la conception de nouveaux intérieurs automobiles, Mars 1998.
- [Rc16] **BOUCHARD C.**, AUVRAY L., Société Plastic Omnium, Projet Intérieur 2002, Veille de Tendances appliquée à la conception et au process d'intérieurs automobiles, 1998, 40 p.
- [Rc17] **BOUCHARD C.**, ROUSSEL B., CHRISTOFOL H., AUVRAY L., Société International Dialogue, Veille technologique en conception et stratégie de positionnement, 1997, 40 p.
- [Rc18] GROFF A., **BOUCHARD C.**, Société Peugeot Citroën Automobiles, Projet Créativité, Etude et recherche sur les techniques de production de solutions technologiques innovantes, Février 2003.
- [Rc19] **BOUCHARD C.**, LIM D., AOUSSAT A., Projet TVI (RNRT, LIMSI CNRS, MEDIALIVE): Télévision interactive intégrant la technologie SAB (Screen Access Box) : anticipation des futurs services et évaluation ergonomique d'une interface de navigation multimodale, 2001-2003.
- [Rc20] **BOUCHARD C.**, STOELTZLEN N., Société Peugeot Citroën Automobiles, Projet Créativité, Pilotage d'une session en créativité appliquée à la production de solutions technologiques innovantes pour un nouveau châssis modulaire, Janvier 2002.
- [Rc21] **BOUCHARD C.**, AOUSSAT A., Société Valéo Thermique Habitacle, Etude de faisabilité en vue de la mise en place d'un plan d'action destiné au département innovation – Intégration des méthodes de production de solutions technologiques innovantes – Application au sujet « diffusion d'air », Septembre 2001.
- [Rc22] PLOMMET S., **BOUCHARD C.**, Société Peugeot Citroën Automobiles, Projet Créativité, Etude et recherche sur les techniques et méthodes production de solutions technologiques innovantes, proposition d'indicateurs de performance, Etude de 1998 à 2000, Octobre 2000.
- [Rc23] **BOUCHARD C.**, MANTELET F., AOUSSAT A., Rapport Scientifique Projet KENSYS (Development, implementation and dissemination of a new methodology for User-centred products design using Product semantics and Kansei Engineering), 2003-2000D1.a Procedure to integrate users, user's resources, list and database of resources to obtain users and semantic words and images.

3.11.8 Logiciels

- [L1] TVi, Logiciel proposant des services pour la télévision interactive du futur, 2003
- [L2] KENSYS, Kansei Engineering SYStem, 2005
- [L3] TRENDS, Logiciel inspirational pour les designers basé sur une recherche d'information par la sémantique ou le contenu, 2008

3.11.9 Brevets

- [B1] BIROUSTE N., DUCHAMP R., **BOUCHARD C.**, LACLEF S., PIGALLE E., Dispositif pour réaliser un objet décoratif personnalisé. Brevet N°0406768 date de dépôt 22 Juin 2004.
- [B2] **BOUCHARD C.**, DESCHAMPS D., Dispositif de maculage de billets pour distributeurs bancaires. Société Fichet-Bauche, N° publication : 2665283, 1990, exploitation industrielle, 1991.

3.11.10 Thèses de doctorat

- [T1] **BOUCHARD C.**, (1997). Modélisation du processus de design automobile. Méthode de veille stylistique adaptée au design du composant d'aspect. Thèse ENSAM (Génie industriel).
- [T2] **LIM D.**, (2003). Modélisation du processus de conception centrée utilisateur, basée sur l'intégration des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive: Application à la conception d'IHM pour la télévision interactive. Thèse ENSAM (Génie industriel).
- [T3] **GROFF A.**, (2004). Construction d'un modèle visant à favoriser l'innovation produit par l'optimisation de la production de solutions innovantes, leur intégration et leur capitalisation dans le processus de conception. Thèse ENSAM (Génie industriel).
- [T4] **STOELTZLEN N.**, (2004). Intégration de la dimension visiographique dans les phases amont du processus de conception de produits pour favoriser la coopération et la construction commune de projet. Thèse ENSAM (Génie industriel).
- [T5] **MANTELET F.**, (2006). Modélisation du processus de design automobile. Méthode de veille stylistique adaptée au design du composant d'aspect. Thèse ENSAM (Génie industriel).
- [T6] **MOUGENOT C.**, (2008). Modélisation de l'activité de recherche d'informations dans les phases amont de la conception de produits. Application pour la définition d'un outil d'aide à la créativité. Thèse ENSAM (Génie industriel).

3.11.11 Awards

- [A1] Excellent paper award: BOUCHARD C., LIM D., AOUSSAT A., Development of a KANSEI ENGINEERING SYSTEM for Industrial design - Identification of input data for KES, 6th Asian Design International Conference, award Committee which organized with Program Committee, Reviewers and Chairpersons, conducted evaluation by committee members to select the 10 / 402 papers (http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssd/6thADC/webmaster/re_e/p_excellent.html).
- [A2] Best paper award : KIM J., BOUCHARD C., OMHOVER JF., AOUSSAT A., Emotional impact on designer's cognitive process in the early stages of design, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010, Paris, France, 10/ 276 papers, (<http://pie.kansei.tsukuba.ac.jp/keer2010/>).
- [A3] Best paper award : MOUGENOT C., WATANABE K., BOUCHARD C., AOUSSAT A., Kansei Information Processing in Product Design Exploring the role of visual information in designers' activity, 2-4 March, Kansei Engineering and Emotion Research Conference KEER 2010, Paris, France, 10/ 276 papers, (<http://pie.kansei.tsukuba.ac.jp/keer2010/>).

Contenu détaillé de la recherche

4

Formalisation et computation du processus de conception amont

4.1 Introduction

Le résultat principal présenté dans la partie *Genèse de la recherche* est un modèle théorique du processus de conception amont qui considère ce processus comme la résolution progressive d'un problème selon les phases d'information, génération, évaluation, matérialisation et décision. Les perspectives envisagées ont souligné l'intérêt d'une continuité dans l'approche double de modélisation cognitive et de modélisation des dimensions sémantique et émotionnelle projetées et perçues. La finalité est l'amélioration du processus de conception par l'intégration progressive de méthodes et outils sein de la chaîne numérique. Ces outils peuvent à terme s'appuyer sur les technologies de RV, et utiliseront les algorithmes de l'IA les plus adaptés au traitement des données et règles manipulées en conception amont.

La recherche qui a suivi, présentée de manière synthétique dans la partie *Synthèse de la recherche*, a consisté à formaliser et modéliser plus en détail les phases d'information, génération, évaluation, matérialisation et décision, lors des premiers cycles du processus informationnel. Pour chaque phase nous avons cherché à identifier la nature de l'information, les relations de catégorisation ou de structuration, et les règles associées. Les parties qui vont suivre décrivent le contenu détaillé de la recherche menée à partir de la thèse initiale. Elles ont été structurées comme suit:

1. *Formalisation et computation de la phase d'information* : cette partie développe la formalisation des processus cognitifs des designers dans la phase informationnelle du processus de conception. Une compréhension fine du métier du designer a fait ressortir l'importance des sources d'inspiration. La méthode ATC, proposée en vue de l'application opérationnelle de notre modèle théorique dans la phase informationnelle, a été expérimentée dans l'industrie dans différents secteurs. Cela a permis l'extraction d'informations et règles liées à cette phase puis la traduction des données et règles dans des formalismes implémentables par des algorithmes. Cette recherche a permis d'engager le projet TRENDS.
2. *Formalisation et computation de la phase de génération*: cette partie expose la recherche que nous avons menée sur la formalisation des processus cognitifs des designers dans les phases de génération d'idées et de concepts. Nous avons investigué et modélisé la créativité collective dans un cadre de recherche-action industrielle. En parallèle, la compréhension et la formalisation des activités de génération prises de manière individuelle nous a amenés à la détection de routines au sein de l'activité de production d'esquisses. Nous avons alors mené une recherche exploratoire sur les possibilités computationnelles relatives à la génération de formes dans le cadre du projet GENIUS.
3. *Formalisation et computation de la phase d'évaluation*: nous avons développé une recherche sur l'évaluation des RI en définissant et en introduisant des méthodes émergentes basées à la fois sur l'intégration des points de vue design

et ergonomie cognitive. Si ces recherches ont été menées de manière séquentielle, elles tendent aujourd'hui à fusionner en une méthodologie de design d'expérience. Nous avons par ailleurs cherché à computer en partie les phases d'évaluation sémantique et émotionnelle de RI en appliquant des approches statistiques classiques et les comparant à des méthodes plus récentes issues de l'apprentissage automatique.

4. *Modélisation globale et computation conjointe des phases d'information, de génération et d'évaluation* : cette partie de notre recherche porte sur la convergence des méthodes et outils que nous proposons dans les phases d'information, génération et évaluation. Nous avons entamé cette recherche dans le cadre du projet KENSYS où il s'est agi de proposer des règles génératives semi-automatiques à partir d'algorithmes construits sur la base d'analyses statistiques de résultats d'évaluation. Nous comptons à l'avenir étudier la possibilité de répondre aux fonctions d'information, génération et d'évaluation au sein d'un même environnement.

Nos avancées de recherche se sont construites principalement autour de projets de recherche de type européens, ministériels ou industriels. Ces projets ont constitué un support expérimental pour les travaux de thèse ou Master Recherche et ont aussi permis une validation opérationnelle de la recherche.

4.2 Formalisation et computation de la phase d'information

4.2.1 Formalisation de la phase d'information

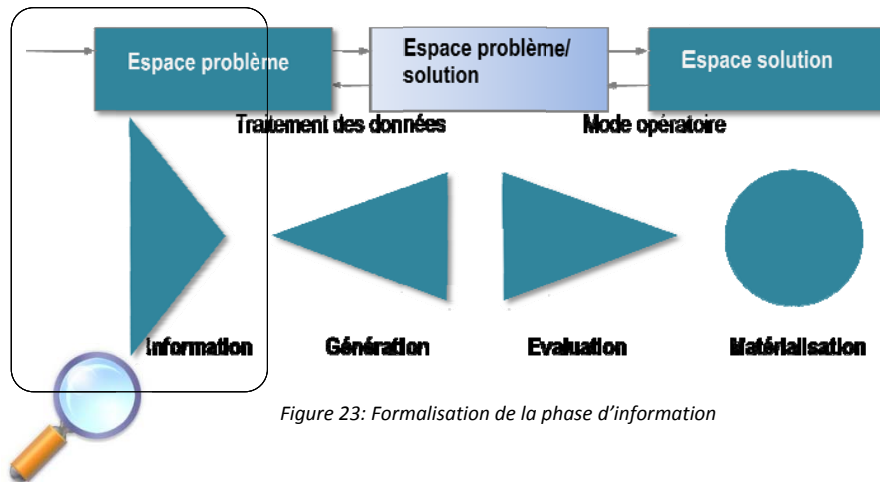


Figure 23: Formalisation de la phase d'information

- **Introduction**

L'ingénierie simultanée tend à couvrir les phases les plus amont de la conception. La formalisation de la phase d'information reste une thématique peu explorée et peu d'outils numériques existent à ce stade. Cette phase s'appuie en effet sur des processus cognitifs implicites non observables directement. Dans ces phases les designers recherchent une grande quantité d'informations pour compléter l'espace problème. Dans cette partie nous décrivons notre recherche sur la formalisation de la phase d'information qui précède la génération de représentations explicites. A partir d'une analyse de l'activité cognitive des designers lors des phases inspirationnelles ou de recherche d'information, nous avons défini un modèle que nous avons validé en contexte opérationnel. La formalisation des processus cognitifs relatifs à la phase d'information nous a aussi permis de définir une nouvelle méthode visant à améliorer cette phase. Ce modèle décrit les cycles préliminaires de conception lors desquels les designers s'imprègnent d'informations qu'ils transféreront ensuite dans la génération de nouveaux concepts. Ces informations sont extraites plus ou moins consciemment selon leur impact émotionnel, esthétique, leur originalité et leur correspondance à des valeurs spécifiques. L'approche des designers a été externalisée puis enrichie par les dimensions métiers de l'ergonomie ou du marketing. Nous avons ainsi élaboré la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe (ATC). La principale finalité de l'ATC est de fournir des RI externes à l'équipe de conception en amont de la génération d'esquisses. Ces RI constituent des données d'entrée pour la créativité. Les deux types de RI précoces proposés dans le cadre de l'ATC sont le *mapping sémantique* et les *planches de tendances* (voir figure 25).

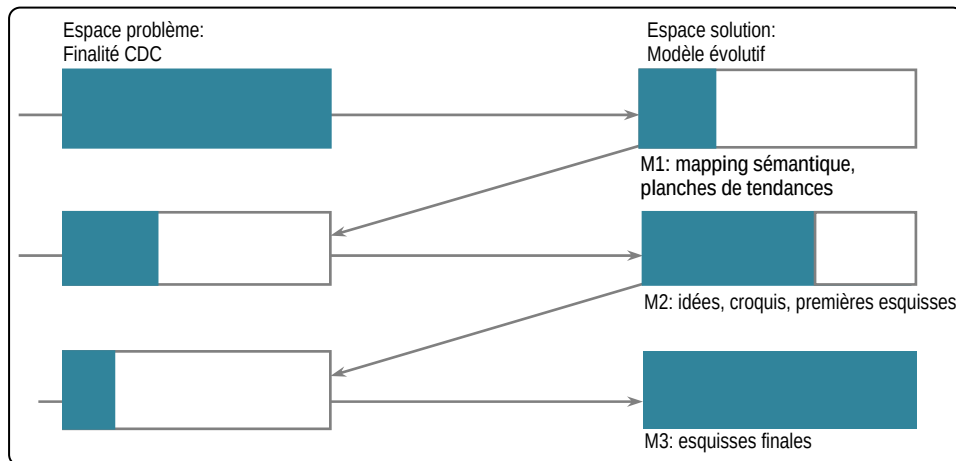


Figure 24: Les représentations de l'ATC

Nous avons expérimenté l'ATC en l'appliquant et en la validant en contexte industriel, essentiellement dans le secteur automobile, au sein des services marketing, design et innovation. Certaines limites de la méthode ont été mises en évidence. D'autre part, lors d'applications successives de l'ATC, le besoin s'est fait sentir de pouvoir appliquer cette méthode simultanément du déploiement de méthodes de créativité appliquée.

- **Phase d'information en conception amont**

La phase d'information comprend à la fois les processus inspirationnels plus ou moins conscients, les actions de veille et les recherches exploratoires ciblées en réponse à un CDC spécifique. Bien que la modélisation de l'activité cognitive des designers constitue un champ d'intérêt croissant, la phase informationnelle a été peu formalisée à ce jour en dehors des recherches de [Eckert & Stacey, 2000] et [Ci47]. Le processus inspirationnel met en oeuvre un raisonnement analogique qui consiste à extraire des de manière plus ou moins consciente des éléments design issus de secteurs connexes pour les mémoriser et les transférer dans le secteur de référence lors de la génération d'idées. Les sources d'inspiration jouent un rôle essentiel dans la définition du contexte [Eckert & Stacey, 2000]. Elles stimulent la créativité et aident à structurer les représentations mentales. Elles peuvent être intra-domaine, inter-domaine proche ou éloignées [Bonnardel & Marmèche, 2005]. La nature de l'utilité de ces sources varie selon qu'elles sont intra-domaine (propices à l'évocation d'aspects fonctionnels), inter-domaine (aspects structurels) et inter-domaine éloigné (aspects affectifs). Certains chercheurs ont étudié l'utilisation des sources jusqu'à la représentation des solutions [Ri4, Leclerc & Heylighen, 2002]. La phase d'exploration correspond à un acte volontaire de recherche ciblée nécessaire pour la compréhension du problème [Cross, 2000, Bonnardel & al, 2005], la définition des objectifs [Wallas, 1926, Schneiderman, 2000, Amabile, 1983] et l'adéquation fonctionnelle [Osborn, 1963, Schneiderman, 2000]. Les designers opèrent par ailleurs une veille plus ou moins formalisée et dirigée qui va d'une simple observation de la vie courante à la consultation régulière de données spécialisées [T1]. La phase d'information dans sa globalité permet d'informer la génération de solutions en référant à des précédents ou à d'autres sources et en ouvrant ainsi le champ des possibles [Lloyd & Selders, 2003]. Nous proposons une structuration de l'information design originale par niveau d'abstraction inspirée à la fois de la méthode du chaînage cognitif [T1] et des modèles IA [Ci7] (voir tableau 3 p 55).

- **Méthode d'Analyse de tendances Conjointes (ATC)**

Les tendances stylistiques et d'usage influencent de nombreux secteurs de l'industrie. Peu de références scientifiques sur ce thème sont disponibles en dehors de recherches

menées en sociologie ou en marketing [Mermet, 2003, Tasma & al, 1997]. Nous définissons une tendance en design industriel comme *toute évolution formelle ou technologique portée par un courant transversal entre différents secteurs, et qui confère à un produit son positionnement dans le cycle d'obsolescence*. Les tendances, par nature dynamiques, peuvent être caractérisées par leur étendue spatio-temporelle et leur degré d'acceptation sociale et culturelle. L'analyse des tendances est réalisée par les designers rarement de manière explicite en dehors du secteur de la mode. Les planches de tendances formalisent des ambiances et des palettes d'éléments axiologiques, sémantiques, chromatiques, formels et texturaux. Ces représentations, lisibles par l'ensemble des acteurs métiers, permettent aux designers d'argumenter, de stimuler la créativité individuelle et collective et de communiquer à travers un support concret. Elles facilitent l'évaluation précoce et la validation de la pertinence d'orientations design avant même la proposition de concepts.

La méthode ATC a été élaborée à partir d'une formalisation des processus cognitifs des designers en rendant explicites les images mentales qu'ils se créent avant de générer des esquisses. Cette méthode aide à anticiper les tendances et à les intégrer dans le processus de conception, en se basant sur l'étude conjointe des valeurs et des tendances design observables dans notre environnement. Elle vise aussi à enrichir les phases inspirationnelles en formalisant des représentations externes telles que *mappings sémantiques* et *planches de tendances* [T1, Christofol, 1995]. L'ATC préconise l'identification des secteurs d'influence investigués par les designers, qui servent eux-mêmes de base au raisonnement analogique pour stimuler la génération de solutions sous forme d'esquisses. Les trois étapes de l'ATC sont la *définition des secteurs influents*, l'*identification et la formulation des tendances*, et leur *intégration dans le projet de conception* (voir figure 26).

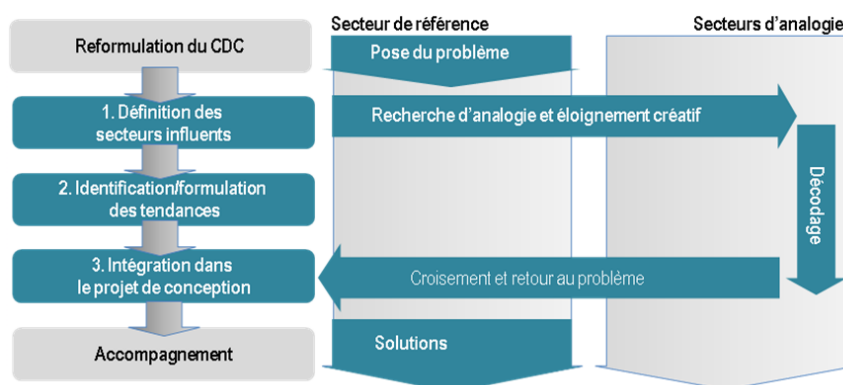


Figure 25: Méthode d'Analyse de Tendances Conjointe (ATC)

La première étape de *définition des secteurs d'influence* est réalisée sur la base d'une extraction d'expertise auprès de designers ou par la réalisation d'un *mapping sémantique*. Dans ce dernier cas, une représentation visuelle de l'offre produit est construite afin de mettre en évidence de secteurs d'influence. Le *mapping sémantique* est la projection 2D d'un ensemble d'images issues d'un secteur produit et positionnées de manière intuitive par rapport aux axes sémantiques les plus discriminants. Il met en évidence les secteurs d'influence. Il est aussi utilisé pour visualiser un panorama des produits existants et aider à la décision sur le positionnement des produits futurs (voir figure 27).

La deuxième étape d'*identification et de formulation des tendances* s'appuie sur un recueil d'illustrations dans les secteurs d'influence, guidé selon des descripteurs sémantiques, formels, ou axiologiques. L'ensemble de ces informations est catégorisé à la fois selon des descripteurs bas-niveau (forme, couleur, texture) et haut-niveau (valeurs sociologiques, descripteurs sémantiques). Des ambiances cohérentes sont

constituées sur la base de ces catégories. La *planche de tendances* est une composition d'images élaborée par le designer qui traduit une ambiance cohérente et homogène d'un point de vue stylistique, sémantique et axiologique (voir figure 27). Ce type de RI fixe une image mentale et la rend explicite pour communiquer un univers perceptif composé d'un ensemble d'informations (images ou mots clés) incarnant à la fois des valeurs abstraites et des attributs concrets. Ces informations proviennent de différents secteurs d'inspiration et révèlent ainsi les tendances qui sont par nature transverses. La *planche de tendances* comporte en plus des palettes d'attributs *forme, couleur, texture, usage*, extraites intuitivement à partir de l'ambiance. La composition de l'ambiance et des palettes obéit à des règles d'harmonies. Ces règles génératrices d'émotions seront ensuite intégrées dans de la génération de solutions.



Figure 26: RI de l'ATC : Mapping sémantique (à gauche) et Planches de tendances (à droite)

La troisième étape d'intégration dans le projet de conception consiste à transférer dans les nouvelles solutions design les harmonies sélectionnées au sein de palettes d'attributs *forme, couleur, texture* extraites des ambiances.

• Information design, information Kansei et règles expertes

L'information design est véhiculée à travers différents médias (conversations, texte, images, esquisses, ...) puis stockée dans des espaces physiques ou numériques. Bien que les designers recourent plus largement aux informations visuelles, l'ensemble des informations sensorielles peut entrer en jeu. L'information design peut être catégorisée en information dite de haut-niveau (descripteurs sémantiques, valeurs sociologiques, dimensions affectives et émotionnelles), moyen-niveau (concepts, noms d'artefacts) ou bas-niveau (forme, couleur, texture). Ce caractère multi-dimensionnel nous amène à la définition du Kansei, terme Japonais qui signifie à la fois les notions de ressenti, impression, sensation, émotion, valeurs ou culture [Nagamashi, 2002]. Il s'agit du processus informationnel mis en œuvre par un sujet qui perçoit un stimulus objet, et qui dirige vers une réponse cognitive et affective spécifique. Le Kansei réfère aussi bien au contenu de l'information qu'aux liens experts qui peuvent se tisser entre les différents types d'informations mis en jeu au sein de l'activité design. Le Kansei peut être vu comme une fonction qui traite de l'information analogique et floue sur l'ensemble du continuum cognitif représenté sur la figure 29 (des valeurs sociologiques aux attributs Kansei sémantiques, sensoriels, stylistiques, émotionnels) jusqu'aux attributs produits (forme, matériaux). En conclusion, la Kansei caractérise bien l'information et l'expertise design.

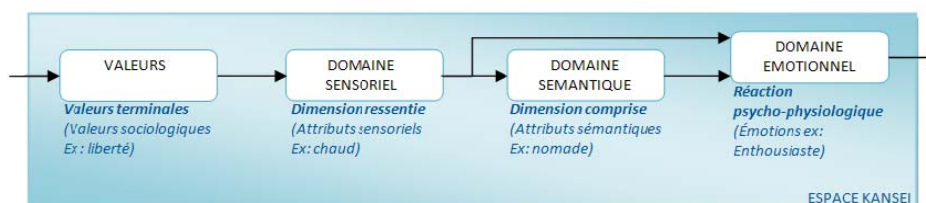


Figure 27: Le domaine du Kansei

L'appellation par niveaux d'abstraction de l'information prépare à des formalismes adaptés au domaine de l'IA [Black & al, 2004, Ci7]. Elle témoigne aussi des règles expertes mises en œuvre par les designers, qui ont cette particularité de couvrir l'ensemble des niveaux d'abstraction de l'information en allant de valeurs abstraites à des attributs concrets et *vice-versa*.

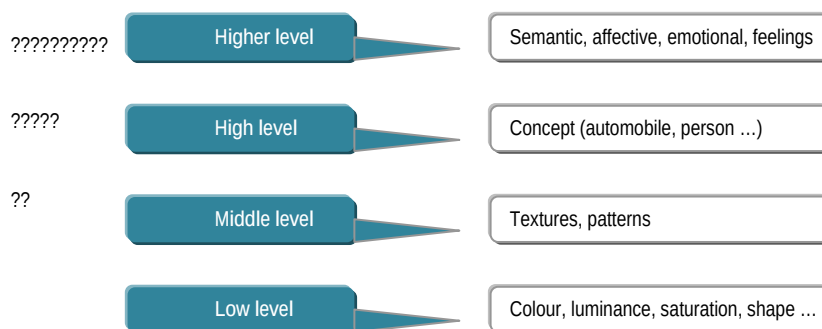


Figure 28: Niveaux d'abstraction de l'information [Ci18]

L'expertise du designer réside principalement dans la maîtrise de l'ensemble de ces catégories d'informations et surtout dans la capacité à les relier entre elles par des règles d'association. Ces règles sont mises en œuvre de manière implicite lors des phases génératives et sont subtilement croisées avec des règles d'harmonies qui provoqueront des émotions positives. La dimension émotionnelle s'étant révélée être cruciale [T1], nous avons décidé d'approfondir notre recherche sur cette dimension ce qui nous a conduits au développement d'un centre de compétences au LCPI dans le domaine du *Kansei design*. L'ingénierie Kansei sera détaillée §4.6.3.

- **Chaînage valeurs-fonctions-solutions**

Bien que de nombreuses méthodes permettent de formaliser partiellement la relation entre attributs bas-niveau (concrets) et attributs haut-niveau (abstraites), peu d'entre elles couvrent l'intégralité de la relation. La physiologie et la psychologie traitent des processus de perception et traitement de l'information. Les théories relatives à l'esthétique formalisent des règles d'harmonie. En sciences de la conception, l'évaluation s'appuie fréquemment sur les méthodes du différentiel sémantique ou de l'analyse sensorielle, et l'anticipation sur l'analyse de tendances. Ces approches sont menées de manière intuitive par des designers ou font appel à des panels de consommateurs. Les méthodes d'ingénierie Kansei couvrent l'intégralité des niveaux en développant une computation partielle des règles sur la base d'approches statistiques et d'algorithmes issus de l'IA. Pour la formalisation des règles, la méthode du chaînage cognitif [Valette-Florence & Rapacchi, 1990, Aurifeuille, 1991, Valette-Florence, 1993, 1994] établit une correspondance pertinente entre des attributs concrets et les valeurs d'une population cible selon un chaînage *valeurs-fonctions-solutions* [Ri7, Ci47]. On retrouve une structure identique dans le modèle axiomatique design sous la forme: *customer domain-functional domain-physical domain-process domain* [Nam Suh, 1999]. Les valeurs, en tant que finalités auxquelles l'individu cherche à accéder par ses comportements [CCA, 1999, Louis Harris, 2002, Bréchon, 2000, Rokeach, 1973], sont les dimensions les plus abstraites manipulées par les designers. Le chaînage *valeurs-fonctions-solutions* correspond à une suite hiérarchisée de séquences cognitives organisées selon des niveaux d'abstraction ascendants allant d'attributs concrets (couleur, forme, ...) à des attributs abstraits (descripteurs sémantiques), qui en conséquence aident plus ou moins à la réalisation des valeurs. Les données sont recueillies et traitées par l'analyse de contenu, puis classées par niveaux d'abstraction *attributs produit, fonctions, valeurs*. Une fois les attributs extraits des représentations du produit, ils sont mis en rapport avec les fonctions sémiotiques qu'ils évoquent et les valeurs auxquelles ils réfèrent. L'ancrage des tendances vis à vis des valeurs et leur fort potentiel évocateur pour la créativité en font une dimension clé

pour les designers qui justifie leur prise en compte dans la formalisation des règles design. Le concept de valeurs est hautement prédictif puisqu'il se rapporte à un référentiel stable et long-terme [Valette-Florence, 1990, 1994].

- **Les processus de catégorisation**

Les processus de catégorisation implicites sont difficiles à appréhender. Ils ont été peu étudiés à ce jour et peu formalisés en dehors de quelques références issues du domaine de l'architecture [Büsher, 2004] ou du Kansei Based image Retrieval [Bianchi-Berthouze, 2002]. La difficulté provient de la subjectivité inhérente à ce type d'opération cognitive, et au caractère multi-dimensionnel et holistique des informations visuelles utilisées et générées dans le cadre de projets design. La recherche d'inspiration est effectuée dans les secteurs d'influence via différents types de médias tels que web, magazines, salons... Les designers génèrent plus ou moins consciemment et de manière généralement implicite des catégories et sous catégories d'informations visuelles et lexicales issues de ces secteurs. La tâche de catégorisation, tout comme la tâche de sélection, requiert une expertise élevée. Les catégories sont spécifiques par la cohérence entre les différentes dimensions du Kansei (forme, couleurs, textures, sémantique associée, valeurs exprimées sous forme de mots clés), l'homogénéité sémantique et bas-niveaux, et le fait qu'elles comportent des harmonies. Le designer compose des ambiances à partir de ces catégories ou sous catégories, et extrait des harmonies pertinentes qu'il réutilisera dans les futures solutions.

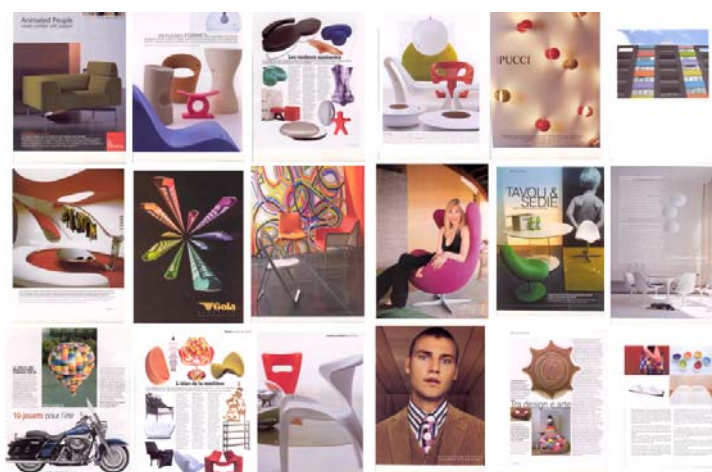


Figure 29: Catégorie Pop [Rc4]

La sélection d'images se fait à la fois par rapport à la couleur, au style, au type d'objet représenté, à la sémantique et aux valeurs. Des facteurs tels que la qualité de l'image ou leur impact émotionnel jouent un rôle important. Cet impact provient des qualités esthétiques dues à la présence d'harmonies, du contenu sémantique et de la fraîcheur de l'information. Les images sont ensuite regroupées d'abord par harmonies de couleurs, puis de forme et texture. Les descripteurs sémantiques qui viennent naturellement à l'esprit en visualisant les images sont utilisés pour nommer les catégories. Le passage des mots aux images est très fluide et dynamique. Les catégories sont ensuite nommées implicitement ou annotées. Les règles d'harmonies s'appliquent à la fois aux couleurs, textures ou formes, et à leur relation avec la sémantique [Ci7].

4.2.2 Computation de la phase d'information

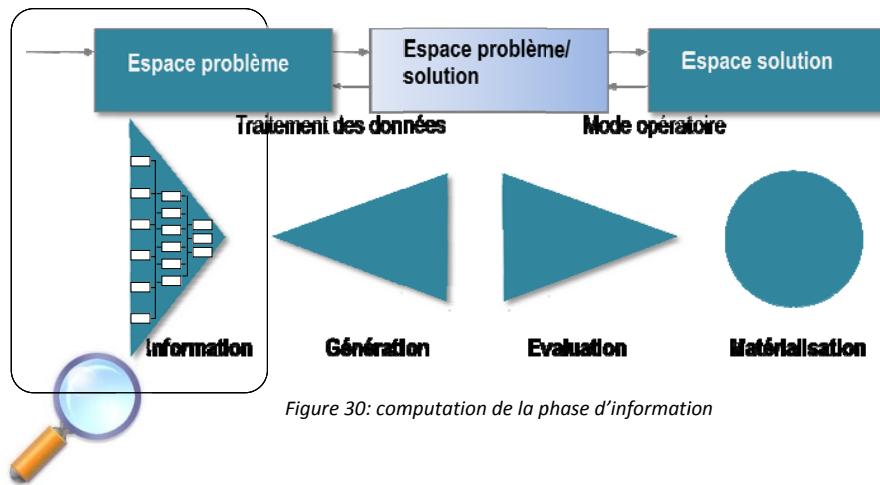


Figure 30: computation de la phase d'information

- **Introduction**

Notre recherche vise à formaliser et à numériser partiellement les processus cognitifs des designers afin d'élaborer de nouveaux outils d'AAC semi-automatiques dédiés à l'équipe de conception, tout en laissant le designer procéder aux phases hédoniques ou de décision. Cette partie porte sur la phase d'information lors de laquelle les concepteurs mémorisent une grande quantité de données. A partir d'une analyse des activités cognitives des designers, nous avons pu extraire et formaliser les connaissances et règles métiers pour aboutir à un modèle cognitif validé en contexte opérationnel avec la méthode ATC. Cette formalisation a ensuite permis de traduire les données dans un format implémentable par des algorithmes et de numériser et rendre semi-automatiques des phases ayant été identifiées comme routinières ou fastidieuses dans le cadre de l'ATC. Pour ce faire, nous avons modélisé finement la méthode ATC en procédures, règles et routines en intégrant le processus créatif.

Compte tenu de la taille de plus en plus grande des bases de données, structurer l'information design devient de plus en plus difficile. La recherche scientifique a commencé à développer de nombreux systèmes supports qui donnent accès à des sources d'inspiration. Dans le cadre du projet TRENDS, un état de l'art a permis de dénombrer une centaine d'outils dédiés à la phase d'information [Rc3-MD1] (www.trendsproject.org). Les systèmes commercialisés se répartissent en moteurs de recherche et outils de recherche par le contenu. D'autres systèmes ont été élaborés dans le cadre de projets Européens ou dans des équipes de recherche. C'est le cas des outils du Kansei Based Images Retrieval (KBIR) qui sont basés sur l'annotation manuelle d'images complétée par un traitement automatique, et des SI expérimentaux pour les designers (EVIDII et IAM-eMMA [Nakakoji, 1998], Product World [Stappers & Pasman, 2001, Restrepo, 2004], CABINET [Keller, 2005]). Les designers ont eux-même tendance à formaliser des BDD numériques qui prennent de plus en plus d'importance au sein de leur activité [Restrepo, 2004, Büsher & al, 2004, Stappers & Sanders, 2005], mais sans réellement bénéficier de moteurs pertinents vis-à-vis de leur besoin. Les outils transverses de recherche d'information par le contenu tiennent plus compte de paramètres objectifs que de paramètres sémantiques et émotionnels. Ces outils sont conçus pour la recherche par le sens, pris ici comme le caractère objectif des objets, ce qui nous conduit en terme de résultat à un même objet selon différentes configurations. Ce type de recherche par le contenu est sujet au *gap sémantique* (voir figure 32) [Ferecatu & al, 2005], considéré comme un inconvénient dans la communauté du *Content Based Image Retrieval*, mais qui paradoxalement peut

constituer un avantage pour les designers. En effet l'identification de tendances s'effectue par la recherche d'harmonies similaires dans différents secteurs.

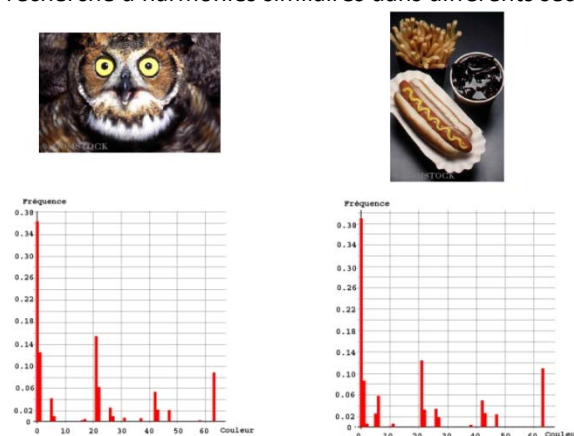


Figure 31: Gap sémantique [Ferecatu & al, 2005].

Les futurs systèmes d'informations utilisés comme aides à la créativité devraient permettre une navigation au sein des représentations, leur visualisation, leur partage et l'élaboration de nouvelles représentations [Schneiderman, 2000, Nakakoji & al, 2006] avec des contenus spécifiques [Bonnardel, 2000, Keller, 2005]. La recherche d'images devrait permettre de découvrir des images avec une relative *sérendipité* (*serendipity*). Des requêtes avec comme données d'entrées des valeurs abstraites ou des descripteurs sémantiques devraient être rendues possibles.

- **Les verrous**

De nombreux systèmes de gestion de BDD basés sur une catégorisation manuelle ou sur des outils de *Multi-Dimensional Scaling* sont apparus dans les laboratoires de recherche afin d'assister les activités de conception amont et le design [Hyun-Oh & al, 2007, Pasman, 2003, Keller, 2005, Restrepo, 2004, 2005, 2006]. Ces systèmes reposent souvent sur une collecte et une annotation manuelles des images, couteuses en temps, pour générer des BDD qui restent généralement limitées à quelques centaines d'images. La subjectivité inhérente aux opérations cognitives mises en œuvre par les designers pour catégoriser l'information en vue de la retrouver dans un contexte particulier rend ce type d'opération encore difficile à gérer de manière automatique [Büsher, 2004, Berthouze, 2003]. La recherche d'images réalisée sur Internet se fait actuellement essentiellement par mots clés avec les outils du web tels que Google images, Corbis, Getty, Fotolia, Inside, Masterfile... Ces outils répertoriés dans le cadre du projet TRENDS [Rc3-MD1] ne prennent pas en compte les paramètres sémantiques et émotionnels.

- **Vers de nouveaux formalismes**

Dans le cadre du projet TRENDS, nous avons eu pour objectif de lever autant que possible ces verrous en apportant une utilité de la recherche d'informations dans le monde du design, qui impacterait aussi le monde de la recherche d'images par le contenu (CBIR) et du *Kansei Based Image Retrieval* (KBIR). A cette fin, nous avons cherché à optimiser la méthode ATC en la numérisant partiellement, en élaborant un outil convivial qui puisse intégrer un traitement sémantique et par le contenu de l'image. Notre objectif a été d'élaborer un nouveau système qui soit en synergie avec les processus cognitifs et affectifs des designers. En particulier il s'est agi de décrire leur expertise d'une manière qui puisse être implémentée par des algorithmes tout en suivant la structure de l'ATC. Cet outil devait apporter un gain de temps et une certaine exhaustivité en élargissant le corpus d'images disponibles dans les différents secteurs d'influence, en améliorant la créativité avec des types de recherche plus ou moins ouverte ou focalisée, et en facilitant la transition vers la génération d'idées et de concepts grâce à l'utilisation d'harmonies clés. Le recueil d'informations a été réalisé à

la fois sur la base de scénarios fictifs et sur l'extraction de données issues de projets antérieurs ayant fait appel à l'ATC.



Figure 32: Extraction de connaissances par annotation manuelle [Ci24].

Le premier résultat a été une validation de la liste des secteurs d'influence mis en œuvre par les designers automobiles (voir tableau suivant).

Year	1997	2006
Designers	40 (10 professional, 30 students)	30 professional
Nationality	French, English, German	Italian, German, British, French
Sectors	1 Car design & automotive 2 Aircrafts, aeronautics 3 Architecture 4 Interior design & furniture 5 Hi-Fi 6 Product design 7 Fashion 8 Animals 9 Plants 10 Science Fiction 11 Virtual reality 12 Fine arts 13 Cinema 14 Music 15 Travels 16 Food	1Car design & automotive 2 Architecture 3 Interior design & furniture 4 Fashion 5 Boat 6 Aircraft 7 Sport goods 8 Product design 9 Cinema & commercials 10 Nature &urban ambiances 11 Transportation (moto, trucks) 12 Music 13 Fine arts 14 Luxury brands 15 Animals 16 Packaging & advertising

Tableau 2: Secteurs d'influence des designers automobiles (70% sources similaires) [T1, Ci2, Ci18, Ci20]

Ce tableau montre les secteurs d'influence identifiés en 1997 puis en 2006 à travers une série d'entretiens menés auprès de designers automobile professionnels. Il est intéressant d'observer que ces secteurs restent en grande partie les mêmes et sont donc relativement stables chez les designers. Ils constituent donc des catégories d'informations pertinentes pour un SI [Ci7, Ci18, Rc3 D2.3].

Le second résultat est un ensemble de tables de données qui formalisent la correspondance entre les différents types d'informations manipulées par les designers et classés par niveaux d'abstraction croissant (voir tableau 4). Cette structuration a été utilisée en particulier pour établir une ontologie du domaine *Kansei-Design*.

Level	Category	Code	Description	Examples
High level (H)	Values	Hv	These words represent final or behavioral values	Security, Well-being
	Semantic words	Hs	Often adjectives related to colour, form, or texture but also impressive words in the field of KE	Playful, Romantic, Aggressive
	Analogy	Ha	Objects in other sectors with features to integrate in the reference sector	Rabbit→Speed
	Style	Hy	Characterization of all levels together thesquisse a specific style	Edge Design, Classic
Middle level (M)	Sector name	Ms	Object names describing one sector or sub sector being representative for expressing a particular trend	Sports
	Context	Mc	User social context	Leisure with Family
Low level (L)	Function	Mf	Function, usage, component, operation	Modularity
	Colour	Lc	Chromatic properties using qualitative or quantitative	Yellow, Light blue
	Form	Lf	Overall shape or component shape, size	Square, Wavy
	Texture	Lt	Patterns (abstract or figurative) and texture	Plastic, metallic

Tableau 3: Niveaux d'abstraction et information design [Ci7, Ci18, Rc3 D2.3].

Un troisième résultat est un modèle sémantique implémentable par des modèles d'exploitation de données qui traduit l'expertise des designers. Ma contribution a porté sur la formalisation des *données et règles design* sous des formats particulier qui permettent à la fois l'implémentation d'une *ontologie Kansei design* (voir tableau 5) et de *sacs de mots* (voir figure 34) dont la structure plus souple est plus adaptée à l'information design. Les sacs de mots (*Bag of Words (BoW)*) ont constitué un filtre important qui a permis d'augmenter de manière significative la pertinence dans le traitement des requêtes. Les développeurs du projet TRENDS (UNIVERSITE DE CARDIFF et société PERTIMM) ont utilisé ces modèles de données et règles afin de développer l'ontologie *Kansei design* et les *Sacs de mots* [Ci25, Ci26], utilisés de manière complémentaire pour traiter une requête.

powerful:2 solid strong robust sturdy performant performance:2 vigorous:2 sportive big dynamic maxi thick speed for wheel trail cross crushing sport aerodynamics aggressive secure heavy muscular:2 brawny:2 hefty:2 muscular:2 powerful:2 sinewy:2 herculean athlete potency:2 potent:2

agressive:2 violent:2 pleasing imposing:2 speed irritated:2 stressed coleric:2 sport brutal:2 provoking:2 dangerous:2 sharp:2 angular daring belligerent:2 imperious energetic:z fast pushy:z:2 pushing:z:2

Figure 33: Exemples de sacs de mots : puissant et agressif [Ci25, Ci26].

Valeurs terminales de Rokeach	Valeurs associées	Descripteurs sémantiques	Descripteurs sémantiques associés	Descripteurs bas-niveau
plaisir	bien-être	plaisant	confortable agréable sympathique	lignes courbes
vie excitante	dynamisme	tout-terrain	robuste puissant	surdimensionnement
		sport	rapide léger résistant de qualité réactif vif	lignes tendues, dissymétriques

Tableau 4: Ontologie Kansei [Ci25, Ci26].

Le quatrième résultat concerne la formalisation des processus cognitifs inhérents à la catégorisation d'images réalisée le plus souvent par les designers de manière implicite. Cette catégorisation, guidée par la couleur, puis la forme et la texture, met en œuvre

des règles d'esthétique qui interviennent comme des filtres lors du processus de traitement de l'image par le designer. Ces règles se basent sur les lois d'harmonies de complémentaires. Nous avons envisagé une computation partielle de ces règles sur la base d'un regroupement automatique d'images par harmonies de couleurs avec l'INRIA comme partenaire pour le traitement automatique d'images. Cette fonction, qui met en œuvre un algorithme basé sur l'ACP et le clustering hiérarchique, est nécessaire dans la mesure où il est difficile pour l'utilisateur d'avoir une vue d'ensemble sur des catégories comprenant des centaines d'images.

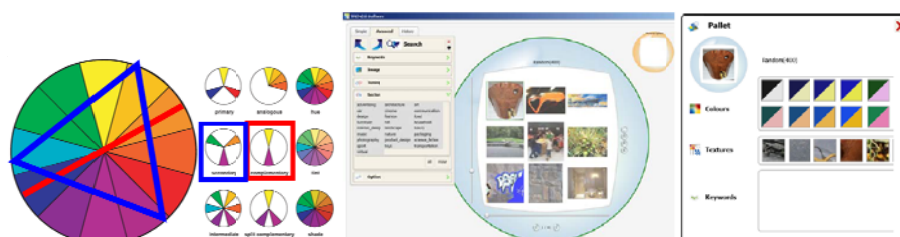


Figure 34: Formalismes dédiés aux technologies de traitement de l'image.

En conclusion, nous avons souhaité numériser en partie la méthode ATC qui constitue la partie informationnelle de l'activité des designers. Deux voies ont été suivies en parallèle, qui ont été présentées dans cette partie: l'élaboration de tables de données implémentables par des algorithmes ou des sacs de mots reliés à des concepts plus ou moins abstraits, et formalisation de lois d'harmonies pour le traitement de l'image. Les règles s'appuient sur des formalismes particuliers qui mettent en relation l'information bas-niveau avec l'information haut-niveau.

- **Le projet TRENDS**

Afin de répondre à la problématique de computation de la phase d'information, nous avons monté et coordonné le projet européen TRENDS (Trends Research ENabler for Design Specifications) avec la société PERTIMM. L'objectif de ce projet a été de concevoir et développer un système computationnel d'aide à la recherche d'images inspirationnelles pour les concepteurs qui interviennent en amont de la conception. Ce système devait notamment aider les concepteurs à générer des RI de type *mappings sémantiques* ou *planches de tendances*. Il s'est agi, en référence à la méthode ATC, d'intégrer trois technologies innovantes: méta-moteur de recherche pour collecter automatiquement les images sur le web par une approche sémantique, analyse automatique d'image et moteur de recherche sémantique texte-image. Le fait de numériser l'information devait aussi permettre un traitement intelligent des images.

Ce projet de type STREP (Strategic Targeted REsearch Project, STREP-FP6-IST-27916) a été financé par la Commission Européenne avec un budget total de 2,45 M€ dont la partie attribuée au LCPI a été de 618 K€. Il s'est positionné dans l'unité E2 de la CE dénommée *Contenu et Connaissance*. La CE a apporté dans la même période son support à une vingtaine de projets portant sur le développement de technologies de l'information s'appliquant au web sémantique, à l'échange de connaissances en contexte numérique et à la création d'objets numériques intelligents. La plupart de ces projets (AIM@SHAPE, VIKEF, WIDE, X-MEDIA) visaient à lever en partie les verrous du domaine du CBIR, en faisant appel à des technologies supports telles que celles que nous avons mises en œuvre dans le cadre du projet TRENDS : ontologies, recherche sémantique. Le projet TRENDS, dont j'ai assuré la coordination, a débuté en Janvier 2006 et s'est terminé en décembre 2008. Il a été mené en collaboration avec les partenaires scientifiques et industriels suivants: INRIA Rocquencourt, PERTIMM, l'Université de CARDIFF, l'Université de LEEDS et la société ROBOTIKER. Les utilisateurs finaux ont été FIAT RECHERCHE et STILE BERTONE. Le rôle spécifique du LCPI, outre la coordination du projet, a été la définition et l'accompagnement méthodologique pour

concevoir le système de manière à la fois créative et centrée utilisateur, à partir de spécifications pour la numérisation de la méthode ATC et de l'intégration du savoir-faire des métiers du design. Le LCPI a fourni des modèles destinés à être exploités par les spécialistes de l'IA dans le but de développer des logiciels d'AAC en phase amont et à développer de nouvelles techniques de créativité en conception.

Les avancées scientifiques développées dans le cadre de ce projet ont été décrites dans la partie précédente *Vers de nouveaux formalismes*. L'apport technologique est un prototype qui intègre un dispositif flexible de recherche d'information sémantique et d'image par le contenu à partir d'une combinaison entre un référencement ontologique et des composants de clustering capables d'implémenter en partie les processus cognitifs des designers lors de leur activité de recherche d'inspiration ou d'information. Les fonctionnalités du système sont la recherche et le traitement de l'information adaptés au besoin spécifique des designers (voir figure 36) : recherche aléatoire d'images, recherche sémantique textuelle, recherche par le contenu d'images (par similarité avec un exemple et par retour de pertinence) ou recherche mixte texte-images.

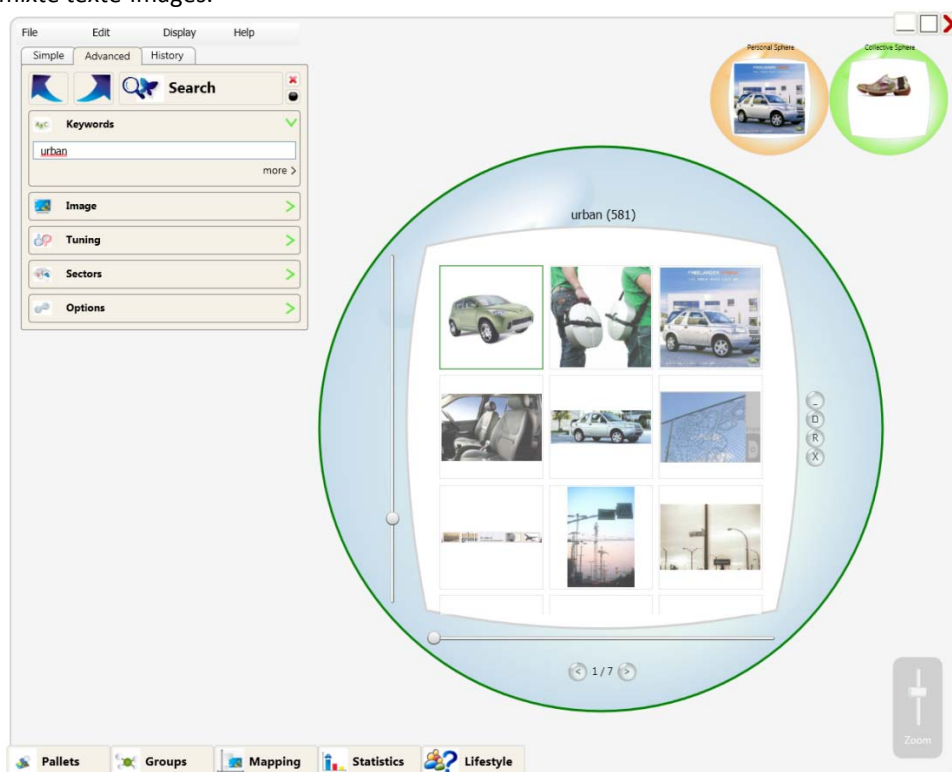


Figure 35: Prototype TRENDs.

Le prototype donne accès à ces fonctionnalités via l'interface graphique. Il met en oeuvre un moteur de recherche texte-image connecté à une base de données de deux millions d'images structurée en secteurs d'influence identifiés selon la méthode ATC. Les données ont été extraites d'après une liste de sites web dans ces secteurs. L'architecture du système est ouverte, évolutive, et supporte la communication des composants (moteur de recherche texte, moteur image, interface, base de données, etc.). Le moteur de recherche sémantique d'images est basé sur une fusion texte-image et permet aux utilisateurs d'appliquer des recherches par association de critères sur les images (couleur, forme, texture ...) et sur le texte (mots clés, ontologies, pertinences ...) selon une aggrégation des données pour donner plus ou moins d'importance aux critères texte ou image. L'interface du système a été co-conçue avec les utilisateurs finaux (designers), avec un développement en langage programmé objet et l'intégration des différents serveurs sous l'interface à exécuter sur la partie client. Les développements liés à la partie sémantique intègrent des tags d'ontologie,

des pertimmizers, des co-occurrences tous présents dans le moteur de recherche texte et visibles à travers l'interface.

La dissémination scientifique a permis de valoriser les aspects relatifs à la modélisation des processus cognitifs des designers lors de la phase d'information et l'influence d'un support inspirationnel assisté par ordinateur sur ce processus créatif [Ci12, Ci13, Ci20, Ci22, Ci27, Ci25, Ci28, Ci29]. Nous avons aussi pu extraire des formalismes originaux tels qu'ontologies et sacs de mots, et des règles associées à la catégorisation qui nous ont amenés à l'utilisation d'algorithmes de clustering [Ci9, Ci19, Ci21, Ci15, Ci25]. Enfin, nous avons décrit la numérisation partielle de la méthode ATC dans des publications dans le cadre de conférences qui portent à la fois sur les aspects cognitifs et computationnels [Ci10, Ci11, Ci16, Ci28] (*Design Computing and Cognition*). Cette recherche s'est aussi positionnée dans le domaine du Kansei, et en particulier le Kansei Based Image Retrieval dans la mesure où les règles et algorithmes utilisés ont permis de faire appel à des descripteurs sémantiques ou des valeurs afin de constituer une requête [Ci18, Ci23, Ci24]. Le processus de constitution et d'indexation de la BDD et à lui-même fait l'objet de publications dans la mesure où il a été calqué sur les processus de catégorisation des designers [Ci26].

- ***Thèse de Céline Mougenot en co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Impact de l'utilisation d'un outil support pour la phase inspirationnelle sur la créativité [T5]***

Le travail de thèse de C. MOUGENOT, soutenue en Décembre 2008, a porté sur l'évaluation de l'impact de l'utilisation d'un outil support de la phase informationnelle sur la créativité, à travers les esquisses produites par les designers. Cette thèse a porté essentiellement sur la phase d'information qui précède la génération de concepts et a permis de faire le lien avec la phase suivante de créativité.

Objectifs de la thèse

L'objectif de la thèse a été de compléter le modèle initial dans la phase d'information et au début de la phase de génération, et d'apporter des spécifications pour la conception de l'outil TRENDS. Dans un second temps il s'est agi de mesurer l'impact des informations visuelles sur la créativité opérationnelle des concepteurs. Trois expérimentations ont été menées à partir d'entretiens avec les designers, de questionnaires et de scénarii de simulation de l'activité design. Les résultats ont apporté un complément d'information quand au processus inspirationnel des designers dans les phases amont.

Références et créativité en conception

Des analyses menées en architecture et en design industriel ont montré que le niveau de créativité mesuré sur des esquisses par des experts designers est accru lors de l'utilisation de stimuli visuels [Malaga, 2000, Goldschmidt & Smolkov, 2006]. Les images déclencheraient plus efficacement le raisonnement par analogie [Oxman, 2002] et ce d'autant plus pour des concepteurs expérimentés [Casakin & Goldschmidt, 1999, Bonnardel & Marmèche, 2005]. D'autres auteurs ont montré que la créativité peut être améliorée par un outil en particulier dans le cas des novices [Christiaans, 1992, Leclerq & Heylighen, 2002]. Lors de la génération de concepts, les concepteurs imaginent fréquemment des formes émergentes [Soufi & Edmonds, 1996]. L'émergence correspond à la rencontre entre l'espace problème (espace source) et l'espace solution (espace cible), selon des processus de concaténations, articulations, combinaison, mutation ou analogie [Rosenman & Gero, 1992]. Elle se réalise en trois

étapes [Anolli & al, 2001] de perception des sources, évocation et adaptation à la cible (*mapping*). Plusieurs chercheurs ont mis en évidence une notion de distance entre la source d'inspiration et la cible de résolution d'un problème [Casakin & Goldschmidt, 1999, Malaga, 2000, Bonnardel, 2000, Leclerc & Heylighen, 2002, Bonnardel & Marmèche, 2005, Bouchard, 2005].

Evaluation de la créativité

Des mesures de la créativité sont proposées en psychologie [Torrance, 2004] [Guilford, 1967]. En conception, ce type d'évaluation constitue un levier important d'optimisation de la conception [Howard & al, 2008, Amabile, 1983, Nakakoji, 1998]. L'évaluation de la créativité en conception s'appuie souvent sur les critères validés d'originalité et d'utilité [Sarkar et Chakrabarti, 2007] et parfois de faisabilité. Ces critères, appréhendés via les RI par des experts externes, n'ont de sens que s'ils sont mis en regard d'un référentiel particulier (entreprise, domaine, ...). Dans la partie expérimentale, nous avons utilisé les critères de nouveauté pour un champ donné, de faisabilité et d'adéquation au CDC. La linkographie étudie des liens entre les idées produites au cours du processus de conception selon la notion de flux créatif [Goldschmidt, 1991]. Cette méthode établit de bons indicateurs du processus créatif en étudiant la densité des liens. Le traitement se fait par clustering hiérarchique [Goldschmidt, 2005]. Bien qu'elle soit très cohérente avec les modèles cognitifs humains [Van Der Lugt, 2003, Cai & Do, 2007], cette méthode reste cependant coûteuse et peu adaptée à une recherche-action. Le raisonnement analogique, prédominant et quasiment continu en design et en conception amont [Leclerc & Heylighen, 2002], est sujet à une grande variabilité interindividuelle et s'appuie sur des processus non contrôlés plus ou moins conscients³.

Problématique et hypothèses

La question de recherche posée a traité de l'influence de la nature des sources utilisées sur la créativité opérationnelle. L'hypothèse majeure a été que la phase d'exploration impacte la créativité opérationnelle. L'objectif expérimental a visé à structurer un SI puis à évaluer l'impact de la phase d'exploration sur la phase de génération, en étudiant le niveau de créativité des solutions produites. D'un point de vue opérationnel, il s'est agi de valider l'intérêt d'un outil d'aide à la recherche d'information.

Expérimentations

Les expérimentations ont porté sur l'analyse du rôle des images dans la phase d'exploration, en apportant des spécifications concrètes pour l'outil TRENDS. L'activité des designers a été analysée afin d'affiner notre modèle cognitif dans la phase d'information. Dans un second temps le niveau de créativité de solutions design a été évalué en fonction du type d'informations visuelles. En tant qu'application, l'approche centrée utilisateur du projet TRENDS a permis d'établir une liste des besoins hiérarchisés des utilisateurs. Ceux-ci portaient sur la nécessité de compléter le CDC avec une aide à la recherche d'informations plus ou moins précise ou floue, et sur l'amélioration de la communication au sein des équipes de conception.

Expérimentation 1 : Une première expérimentation a permis de mieux comprendre la recherche d'images et de valider les secteurs d'influence proposés initialement.

Protocole : 32 professionnels du design automobile ont réalisé ce premier test selon un protocole qui a combiné une approche ethnographique et une observation de l'activité

³ Les informations utilisées pour la réalisation d'analogies sont majoritairement des caractéristiques extraites de la source et de la cible (à 66%). Les designers font appel à la fois à leurs connaissances (à 57%), et à des sources extérieures (43%) en combinant les deux stratégies, les sources extérieures étant délivrées juste à temps avant le travail créatif.

en contexte réel. Le recueil s'est fait par questionnaires et entretiens. Les questions ont porté sur la nature de l'information et la manière de la structurer. Les réponses ont été restituées sous forme de cartes mentales composées de mots clés et d'esquisses. Les répondants ont présenté un cas de projet réel allant de la réception du CDC jusqu'à la génération de concepts, en évoquant le contenu des sources, les outils utilisés pour rechercher ou stocker les informations, et leur point de vue sur d'éventuels outils numériques pour cette phase.

Résultats : Le travail de recherche de concepts se pratique individuellement pendant une à trois semaines puis devient collectif. Les inspirations essentiellement visuelles proviennent de magazines agréables à utiliser et sont complétées grâce à Internet. L'inspiration provient de nombreux secteurs avec majoritairement le design automobile. Dans le cadre d'un projet, les designers recherchent surtout des images de véhicules existants ou visant à illustrer un concept sémantique (la fluidité, la force, ...). Deux modes de recherche sont mis en œuvre, allant de focalisé à ouvert pour trouver des informations non recherchées à priori mais qui s'avèrent être utiles (serendipity). En comparaison des magazines, Internet présente une mauvaise qualité des images et une trop grande quantité d'informations disponibles, accentuée par des moyens de recherche insuffisamment performants. Les designers utilisent souvent des images pour rechercher d'autres images, et complètent régulièrement leur BDD avec les photos numériques qu'ils prennent. Les images collectées servent de sources d'inspiration et de traces pour argumenter une ambiance ou un concept en revue de projet. Elles sont alors présentées à côté des esquisses pour souligner les analogies. La première expérimentation a mis en évidence l'existence de nouveaux média et a confirmé les secteurs d'influence. Le fait que les designers utilisent ces secteurs valide une structure long-terme de la connaissance pertinente pour organiser un système d'information pour les concepteurs.

Expérimentation 2 : Une deuxième expérimentation a mis en évidence la manière dont les designers sélectionnent les images qu'ils jugent utiles ainsi que l'influence des sources et médias traditionnels ou numériques sur le contenu.

Protocole : 4 designers de chez CRF et SB présents lors de l'EXP1 ont participé à ce test. Deux tâches de 30 mn chacune leur ont été proposées sur leur site de travail habituel : l'exploration de sources sans contrainte puis avec les contraintes d'un CDC design. Les designers ont dû rechercher des sources visuelles dans les secteurs suivants : design automobile, mode, mobilier, art et architecture, dans des magazines ou sur des sites web, les sauvegarder et les annoter spontanément par des mots clés. Dans un second temps, la même tâche a été réalisée mais cette fois-ci dans le but de répondre au CDC : *concevoir un concept-car pour un jeune homme, style ZZ et style roadster*. Les participants devaient écrire les mots qui leur venaient à l'esprit en lisant le CDC puis rechercher des images avec ces mots grâce aux moteurs de recherche qu'ils ont l'habitude d'utiliser. Pour cela, ils ont d'abord utilisé les mots clés initiaux puis les ont complétés avec d'autres mots tout en expliquant oralement leur choix.

Résultats :

PARTIE LIBRE : Le nombre d'images sélectionnées a été supérieur dans les magazines (55) par rapport à Internet (31). Une seule image a été sélectionnée par plus d'un participant ce qui témoigne de la variabilité dans la sélection. Les images sélectionnées dans les magazines (44) consistaient principalement en des images A4 quasi dénuées de texte, les images de petit format ayant été rejetées (5). Le format A3 semblait permettre une meilleure immersion dans l'image. La richesse inspirationnelle dépend du type de magazines utilisés (FRAME, DAM ++). Les images obtenues en sortie ont été classées selon les catégories intra-domaine (automobile et transport), inter-domaine proche (design produit et architecture) et inter-domaine éloigné (mode, styles de vie, consommateurs) [Bonnardel, 2006].

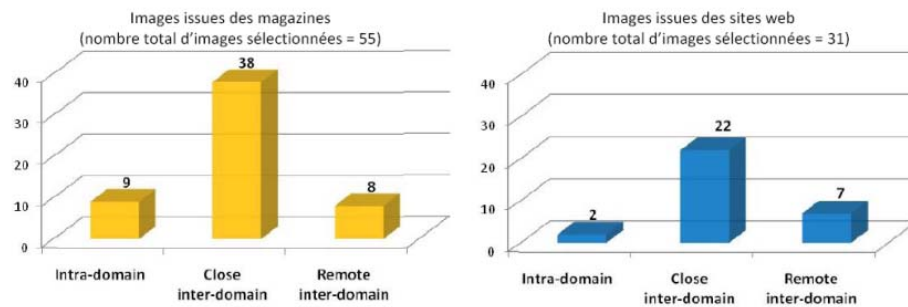


Figure 36: Nombre d'images sélectionnées suivant le type de sources

La répartition du domaine d'origine est très ressemblante entre la sélection d'images provenant de magazines et celle du web, avec une majorité qui se situe au niveau inter-domaine proche. 40% des images issues des magazines ont été sélectionnées par rapport à des informations haut-niveau pour 25% seulement des images en provenance du web qui ont plus tendance à représenter un produit ou un secteur.

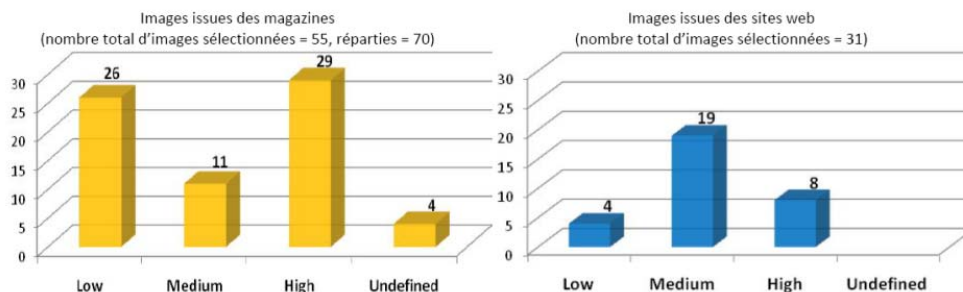


Figure 37: Nombre d'images sélectionnées suivant le niveau d'abstraction

PARTIE CONTRAINTES : L'objectif de cette phase a été de faire réaliser la même tâche que précédemment en rajoutant l'utilisation d'un CDC. Spontanément, les designers ont recherché des images du secteur automobile alors que dans un cadre hors CDC, ils avaient retenu des images qui n'étaient pas forcément de ce secteur. La nature des informations trouvées sur le web ou les modes de recherche associés ne permettent pas de trouver des images qui illustrent toutes les idées des designers. On attendait des participants qu'ils cherchent aussi des éléments abstraits à partir de descripteurs sémantiques. Seul un designer a utilisé des mots à caractère concret avec un lien très direct entre le mot et l'image et a été satisfait des images trouvées. Pour les autres, les quelques images retenues ont été trouvées par hasard et non pas avec les mots clés. Les requêtes effectuées grâce à des moteurs de recherche ne semblent donc pas fournir suffisamment d'images vis à vis des attentes, et ce d'autant plus lorsque les designers cherchent à illustrer des dimensions abstraites. La recherche d'images par mots clés abstraits ayant été décevante pour les designers, ceux-ci ont dû inventer des stratégies de contournement par d'autres mots clés afin de pallier au problème. Les designers tendent à utiliser les mêmes secteurs et les mêmes médias. Ils ont commencé par citer une marque ou un modèle automobile, mais ont ensuite suivi des stratégies de recherche d'images très personnelles en ciblant des contenus ou des niveaux d'abstraction différents. En conclusion, la difficulté à rechercher des informations selon des dimensions abstraites avec les moteurs de recherche actuels a été soulignée, ainsi que la différence inter-individuelle dans les stratégies de recherche d'images, en particulier concernant le niveau d'abstraction.

Expérimentation 3 : Une troisième expérimentation a consisté à évaluer l'impact du type de secteurs sources sur la créativité des productions des designers.

Protocole : Trois types de secteurs ont été choisis à partir des travaux de Bonnardel et Marmèche (automobile pour *intra-domaine*, architecture pour *inter-domaine proche* et mode pour *éloigné*). 14 designers professionnels ont généré individuellement des

esquisses pendant 30 minutes, 4 à partir d'images du secteur auto, 5 de l'architecture et 5 de la mode. Le nouveau CDC proposait de concevoir un véhicule voyant et provocant destiné à une clientèle jeune et urbaine. Le protocole comptait 4 phases : réception du CDC, visualisation d'images, utilisation de sources jugées inspirationnelles et génération d'esquisses. 40 images ont été utilisées pour la visualisation, réparties au sein des trois groupes, avec certaines images du secteur de référence communes à tous les groupes, pour coller à la réalité. Les participants ont sélectionné des images jugées inspirationnelles et ont réalisé pendant 30 minutes des esquisses en réponse au CDC. Ces esquisses ont ensuite été évaluées par trois experts en design auto, selon les critères de *nouveauté*, *faisabilité* et *adéquation au CDC*.

Résultats : 14 esquisses ont été réalisées. Les moyennes des évaluations ont été calculées pour les trois groupes d'esquisses produites à partir des secteurs proche, éloigné intra-domaine et éloigné inter-domaine.

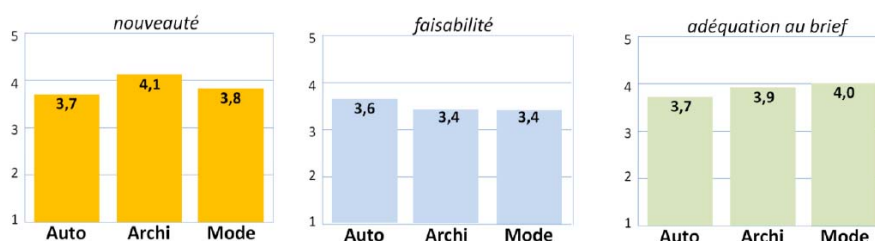


Figure 38: Résultats des évaluations des esquisses en fonction du secteur d'origine des images inspirationnelles

L'hypothèse selon laquelle l'éloignement du secteur correspond à un degré de créativité proportionnellement accru a été en partie vérifiée puisque les esquisses considérées comme les plus créatives ont été produites avec des images issues du secteur inter-domaine proche. Cependant une partie de l'hypothèse est infirmée puisque les images issues du secteur éloigné obtiennent une évaluation inférieure à celles produites avec des images du secteur proche. Ces résultats confirment ceux de Bonnardel, en allant jusqu'à la phase de production d'esquisses. La nouveauté a évolué inversement de la faisabilité. En conclusion générale des expérimentations menées selon une méthode combinant les approches terrain et expérimentale, un modèle de l'activité des designers dans la phase d'exploration a été établi. L'applicabilité de ce modèle a visé à proposer des spécifications pour le développement d'un SI pour les designers. En perspective, certaines limites inhérentes à cette expérimentation pourraient être levées en laissant la possibilité aux designers de réaliser plusieurs cycles de visualisation-génération d'une part pour conserver le phénomène d'incubation, et d'autre part en vérifiant que ce modèle s'applique à un nombre plus important de secteurs.

Modèle, apports

C. MOUGENOT a proposé un modèle (voir figure 40) basé sur la co-évolution des représentations mentales et des représentations explicites tout comme dans le modèle initial, et qui se focalise plus précisément sur l'activité qui a lieu en amont des premières esquisses. Ce modèle a donné lieu à des spécifications pour le logiciel TRENDS, en particulier pour structurer la BDD et valider la pertinence de requêtes sémantiques. Aujourd'hui l'outil TRENDS permet pour la première fois de faire fonctionner au sein d'un outil unique plusieurs fonctions dont certaines ont déjà été évoquées par d'autres chercheurs, et de valider la réponse de cet outil à un réel besoin.

Conclusion

A partir du constat que les outils numériques ne permettent pas encore d'assister la phase amont de la réception du CDC jusqu'aux premières formalisations d'esquisses, cette thèse a permis d'enrichir le modèle initial dans la phase d'exploration et

d'investiguer le rôle des images inspirationnelles sur la créativité des designers. L'apport théorique est un modèle de la phase d'exploration, et l'apport opérationnel une liste de spécifications pour l'outil TRENDS. Il a été démontré que la phase d'information peut être assistée par un outil numérique et que le web dans son état actuel ne permet pas l'utilisation de données d'entrée abstraites ou imagées et ne satisfait donc pas les designers. Il a également été démontré que les secteurs d'influence n'ont pas tous le même impact sur la créativité des solutions design.

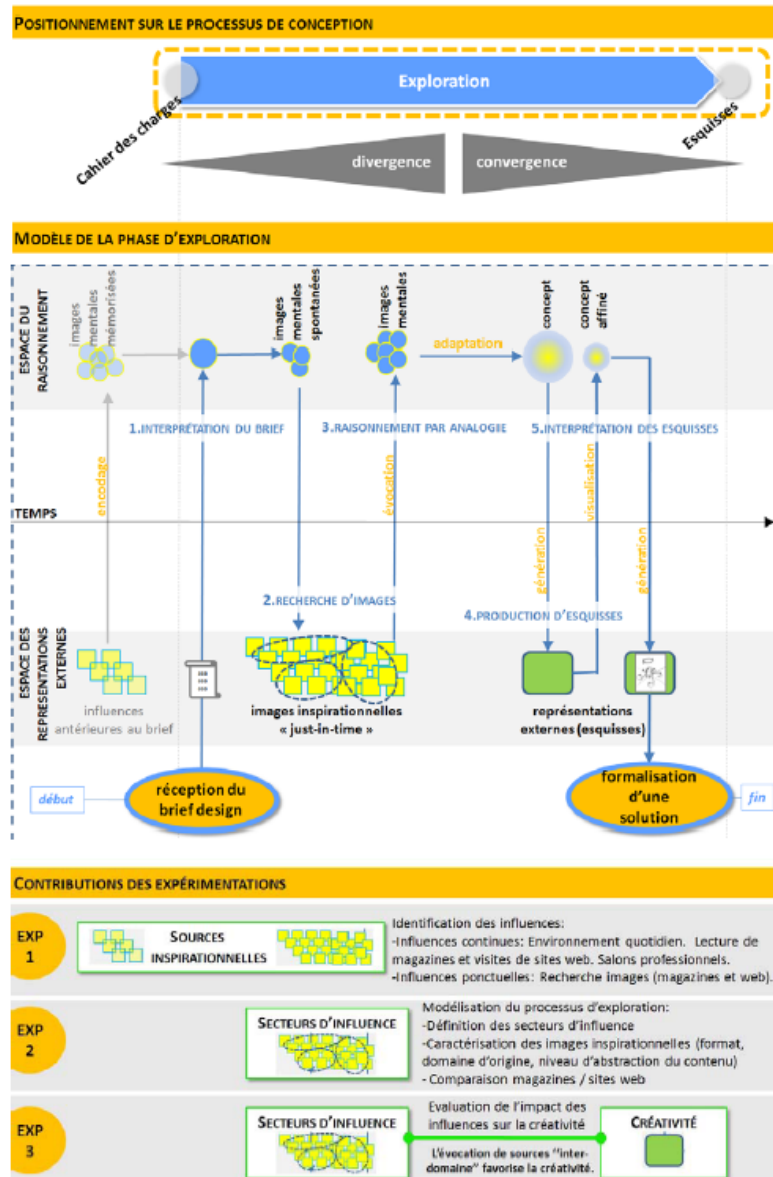


Figure 39: Modèle de la phase d'exploration en conception de produits

4.3 Formalisation et computation de la phase générative

4.3.1 Formalisation de la phase générative

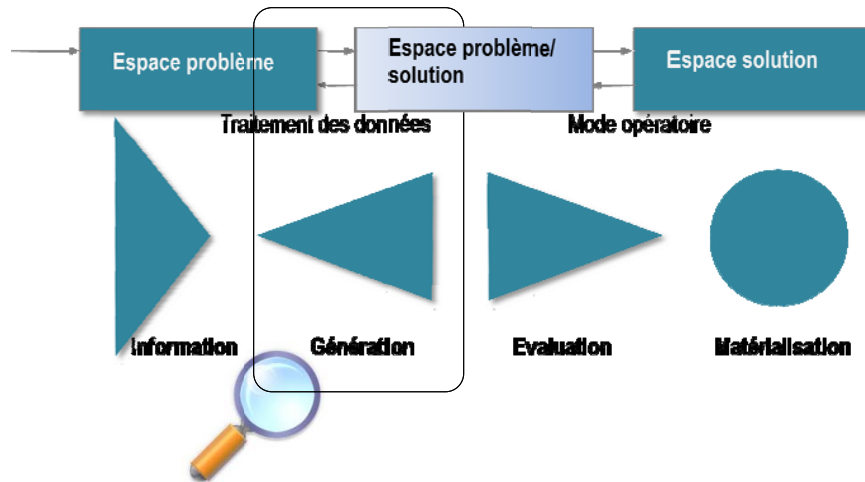


Figure 40: Formalisation de la phase générative

- **Introduction**

La phase de *Développement de concepts* met en oeuvre un processus de divergence et de convergence. Les procédures opérationnelles consistent à répondre au CDC en explorant plusieurs possibilités conceptuelles qui seront évaluées et en partie sélectionnées au travers d'une série de présentations et de discussions. L'exploration initiale du problème se fait généralement de manière collective, parfois avec le soutien d'animation en créativité. Il s'ensuit un travail de génération d'idées et de concepts pratiqué individuellement ou collectivement par les concepteurs. Compte tenu de l'évolution vers une ingénierie concourante, les premières phases exploratoires se voient peu à peu transformées avec une intervention accrue du collectif qui nécessite le support de méthodes et outils spécifiques. Nous avons proposé de nouveaux modèles supports du processus créatif pratiqué en contexte multi-métiers. Notre cadre expérimental s'est basé sur une collaboration importante dans le secteur automobile. Une première phase d'analyse du besoin et de diagnostic en termes de créativité chez un constructeur automobile a abouti à la proposition d'une méthodologie de créativité basée sur la programmation d'outils d'animation, s'accompagnant de la mise en place d'un plateau créativité et innovation dans l'entreprise. J'ai contribué à cette recherche en m'impliquant dans le pilotage des deux phases suivantes. La première a consisté à évaluer le processus de créativité mis en oeuvre auprès des acteurs et des services demandeurs. Les limites observées concernaient le positionnement des actions en créativité au sein des projets qui s'est avéré trop ponctuel. Les améliorations demandées portaient aussi bien sur la phase d'analyse de la demande, en amont de la production d'idées, que sur l'évaluation, la matérialisation et l'exploitation des idées en aval. La seconde phase a consisté à définir des points précis d'amélioration pour proposer des solutions concrètes d'optimisation du processus de créativité. Cette optimisation s'est basée sur la mise en place de supports à l'activité et d'indicateurs de mesure de la performance des démarches d'innovation [Cordero, 1990, Maimon & Horowitz, 1999]. Ces indicateurs étaient les suivants : *nombre d'idées nouvelles émises, approfondies, matérialisées, pour l'entreprise, pour le secteur de référence, dans les autres secteurs, gains financiers, gains d'images, reconnaissance scientifique et institutionnelle, apport à la stratégie de l'entreprise*. En complément de la méthodologie, un SGBD intégré à l'Intranet du Service Innovation a été mis en place. Cet outil offre une traçabilité des idées,

concepts, concepts approfondis métiers et résultats d'évaluation. Le processus final de production créative collective multi-métiers a été modélisé grâce au travail de thèse d'A. GROFF intitulé *optimisation de l'innovation dans l'industrie automobile via l'élaboration d'un processus de créativité industrielle*. En parallèle de cette recherche industrielle, nous avons continué à développer une recherche sur la créativité individuelle à partir d'une analyse de l'activité de génération d'esquisses et d'une modélisation des processus cognitifs inhérents à cette activité. Nous montrerons dans le cadre du projet GENIUS, que ce sont en particulier les processus d'association qui interviennent pendant cette étape.

- ***Théories de la créativité***

La créativité comme champ d'analyse théorique a suscité l'intérêt des philosophes et des scientifiques depuis l'antiquité. Par la suite, de nombreux chercheurs ont contribué au développement des théories de la créativité en découvrant les principes de fonctionnement humain grâce à la psychologie, puis dans un cadre plus appliqué en sciences de la conception, en développant des méthodes et outils favorisant la créativité industrielle [Ci37]. Les modèles de pensée créative en conception sont devenus indispensables afin d'optimiser les processus d'innovation et de développement d'outils AAC. La créativité a été définie par Isaksen [Isaksen, 2000] comme une fonction qui croît avec la connaissance, l'imagination, et la capacité d'évaluation. De nombreuses recherches ont été menées afin de mettre en évidence quels sont les facteurs individuels ou collectifs qui favorisent la créativité [Amabile, 1996, Jaoui, 1990, 1995]. Celles-ci convergent vers l'idée que chaque individu a un potentiel créatif à offrir. Certaines analyses portent plus sur les mécanismes mentaux, avec la notion d'intelligence divergente et de facultés associatives à produire des regroupements cohérents [De Bono, 1995].

- ***Innovation et créativité***

L'innovation permet d'instaurer une dynamique pour répondre aux évolutions des marchés et constitue un atout majeur pour rester compétitif [Cn6]. Cependant cette dimension n'est pas encore complètement maîtrisée [Nielsen, 2001]. La problématique de son intégration dans l'industrie reste posée et constitue une thématique de recherche à part entière. De nombreux chercheurs se sont penchés sur les multiples dimensions de l'innovation qui peut être structurelle [Hatchuel, 2002], organisationnelle [Mintzberg, 2000, Van Den Ende & al, 2008, Beaume & al, 2008, Johannessen JA, 2008], sociale, produit ou procédé, mais aussi de type incrémentale, architecturale, de rupture ou de synthèse. L'innovation constitue un support efficace aux équipes projets dans l'entreprise lorsqu'elle est pilotée et organisée par des experts en support des concepteurs. Dans certains grands groupes industriels, des départements dédiés ont été mis en place. Aujourd'hui, ces mêmes groupes se situent plus dans une problématique d'optimisation de l'innovation. Le processus d'innovation peut être vu comme un processus global de sous processus inter-reliés [Bocquet, 2002]. Chez les constructeurs automobiles, une ingénierie simultanée et des plateaux ont vu le jour pour favoriser l'innovation [Midler, 1993, Moisdon & Weil, 1992]. L'innovation provient dans ce cas de la mise en commun précoce des informations issues des différents points de vue métiers. Nous différencierons la créativité de l'innovation de la manière suivante: la créativité porte sur les phases initiales de la génération d'idées à la génération de concepts, où la génération est encore peu matérialisée: on trouvera essentiellement des esquisses à ce stade. L'innovation englobe un processus complet de définition des concepts et leur développement en prototypes opérationnels [Cox, 2005].

- ***Créativité collective en conception***

L'optimisation de l'innovation passe nécessairement par la définition, le pilotage et la mise en œuvre d'un processus de créativité industrielle s'appliquant au processus de conception dans son ensemble [Jaoui, 1995, Hatchuel, 2002, Rc22, Rc20, Rc18]. Dans le cadre des nombreux modèles de conception offrant une prescription en phases [Pahl & Beitz, 1984, Aoussat, 1990, Ulrich, 2000], une créativité optimale s'appliquera donc à l'ensemble des phases et non pas uniquement à la phase de génération de concepts. La créativité est pratiquée sur la base de méthodes et outils qui guideront les stratégies de conception au niveau individuel et collectif [Visser, 1998]. Le collectif renforce l'efficacité [Vink, 1999]. En effet c'est dans la quantité que l'on trouvera les solutions pertinentes aux problèmes posés, d'autant plus que le collectif favorisera l'appropriation ultérieure des solutions au sein des équipes qui s'orienteront vers une culture d'entreprise créative [Jaoui, 2002]. Les méthodes et outils de créativité s'appuient sur des séances et sessions de travail collectif en groupes multi-métiers menées par des animateurs non impliqués dans la conception, et où chacune des étapes fait appel à des outils spécifiques [Vadcard, 1996]. Ces méthodes mettent en œuvre des étapes d'analyse et de formulation du problème, puis de divergence pour traiter ces problèmes, et enfin un retour au problème initial pour aboutir, via des idées, aux solutions qui composeront le produit [Hatchuel, 2002]. Le processus créatif est souvent défini comme une synthèse avec une structure bisassociative fondamentale [Osborn, 1963], lors de laquelle nous nous éloignons d'une démarche artistique par l'intégration de contraintes. L'évaluation est généralement différée afin de ne pas altérer les phases de divergence.

- ***Définition et mise en œuvre d'un processus de production de solutions innovantes par l'intégration de la créativité (collaboration industrielle avec un constructeur automobile)***

Cette recherche a eu pour finalité la construction d'un modèle visant à optimiser la production de solutions innovantes, leur intégration et leur capitalisation dans le processus de conception. Le cadre expérimental s'est construit en collaboration avec un grand constructeur automobile français de 1995 à ce jour, avec comme problématique industrielle le management de l'activité de créativité support du processus de conception. Les expérimentations se sont appuyées majoritairement sur des entretiens semi-directifs auprès d'acteurs *métiers* ou *projet* de l'entreprise, des analyses de contenu des verbalisations et l'implémentation des résultats dans le cadre de projets réels de conception. A cette fin, les chercheurs concernés ont eu un statut de collaborateurs continus en réservant un temps dédié à cette recherche-action. Cela a permis d'appréhender la réalité des faits au quotidien et d'être intégrés à part entière au sein des équipes projets de l'entreprise. La recherche a été menée depuis 1995 en 3 grandes phases :

1/ Une première phase *d'analyse du besoin et de diagnostic*; [Vadcard, 1996, Rc22, Rc20]

2/ Une seconde phase *de formalisation, mise en œuvre et évaluation du processus de recherche de solutions créatives et innovantes* réalisée auprès d'acteurs du plateau innovation et des services demandeurs, afin de localiser et d'identifier les limites de la démarche; [Rc22, Rc20]

3/ Une troisième phase *de définition des points d'amélioration et de proposition de solutions* concrètes d'optimisation du processus de production d'idées innovantes. [Rc20, Rc18].

1/ La première phase *d'analyse du besoin et de diagnostic* a abouti à la modélisation d'une méthodologie de production d'idées innovantes, ainsi qu'à la création d'un service créativité et innovation dans l'entreprise avec des personnels formés à cette

méthodologie. Si l'entreprise s'est appuyée dans un premier temps exclusivement sur des collaborations avec des cabinets externes, la volonté d'une créativité intégrée au sein de l'entreprise s'est peu à peu affirmée, afin de pouvoir appréhender le problème de conception dans sa totalité et d'avoir plus de moyens de contrôle du résultat. Le constructeur a donc développé une structure interne de créativité pour favoriser l'émergence de nouvelles idées et les traduire ensuite en RI physiques et virtuelles. Initialement la thèse de P. Vadcard a permis de proposer un ensemble d'outils et de méthodes classifiés [Vadcard, 1996] selon une démarche générique articulée autour des 4 phases suivantes (voir figure 42). Deux animateurs en créativité ont été recrutés dans l'entreprise pour composer le service opérant sur la base de la méthodologie proposée. Ces personnels ont constitué un groupe de travail qui traitait ponctuellement les problèmes de créativité en conception et apportait une méta-réflexion sur le processus de créativité industriel en lui-même.

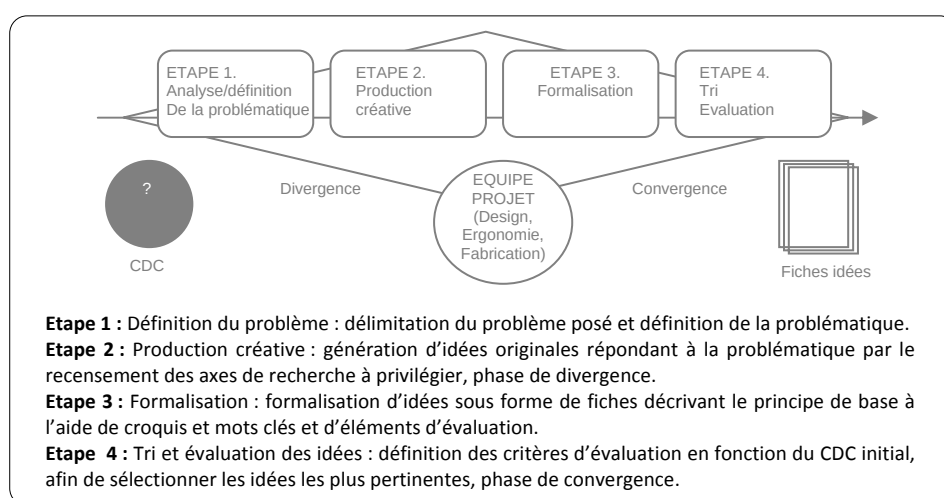


Figure 41: Les 4 phases du processus de créativité appliquée [REF EACI]

Parmi une quarantaine d'outils de créativité appliquée identifiés comme utilisables au sein de cette démarche [Vadcard, 1996], nous en avons retenu une dizaine pour un contexte opérationnel (voir tableau 6) qui font appel à différents modes de raisonnement, analogique, associatif, analytique, ou combinatoire.

Type d'approche	Outils associés	Etape d'utilisation
Approche analogique: ouverture et éloignement créatif par production d'idées originales issues d'un domaine analogue à celui du problème de départ par généralisation ou abstraction	L'analogie L'inversion Les scénarii La bionique	Etape 2
Approche associative: permet de formaliser par association d'idées la compréhension d'un problème donné et synthétiser les pistes de solutions	La carte mentale Le brainstorming	Etape 1 Etape 2
Approche analytique: approche structurante qui correspond à des opérations d'approfondissement, d'évaluation et de sélection et donc aux phases de convergence.	La purge L'avocat de l'ange La fiche idée Triz	Etape 1 Etape 4 Etape 4
Approche combinatoire: permet aussi bien l'ouverture par l'exploration systématique de combinaisons d'idées potentielles que la structuration par l'évaluation systématique de ces mêmes combinaisons.	La matrice de découverte Triz	Etape 2 Etape 3

Tableau 5: Principaux outils de créativité appliquée en conception.

Dans les phases de divergence, la question d'entrée est cruciale afin d'orienter correctement la production. Les outils qui figurent dans le tableau 6 sont mis en pratique dans l'entreprise principalement via des sessions d'animation de groupes ou plus rarement de manière individuelle, en utilisant parfois des logiciels spécifiques

(Mindmanager pour carte mentale, Techoptimizer pour TRIZ, etc...). Ils deviennent des filtres qui permettent à chaque acteur d'exprimer son propre point de vue quelqu'il soit sa culture métier. Comme l'indique le tableau 7, la communication mise en oeuvre fait appel à différents modes de communication selon les outils :

Outil	Mode de génération	Modalité de communication
" <i>Purge</i> " permet de lister les idées existantes sur un sujet	Individuel	Lexical + graphique
" <i>Brainstorming</i> " permet de lister un grand nombre d'idées nouvelles sur le sujet	Collectif	Verbal
" <i>Scenario</i> " description d'une situation idéale ou catastrophique	Collectif	Verbal, gestuel
" <i>Idea chart</i> " permet de clarifier une idée de manière précise	Individuel ou collectif	Lexical + graphique

Tableau 6: Les techniques de créativité, approches et outils.

Ces outils confèrent aux acteurs de l'équipe de conception une certaine ouverture et favorisent une logique de concurrence.

2/ Une seconde phase de *formalisation et d'évaluation du processus de recherche de solutions créatives et innovantes* a été réalisée, accompagnée de formations d'experts en créativité, de sensibilisations des personnels de l'entreprise et de dissémination à travers un guide. Le rôle du service créativité a alors été précisé. Celui-ci devait faire trouver en groupe des solutions créatives et innovantes face à des problèmes de conception, en élaborant un plan de séance et en proposant une programmation d'outils permettant d'aboutir respectivement aux livrables *fiches idées, concepts et prototypes à l'échelle 1*, TRIZ [Altshuller, 2004] venant en complément pour traiter la génération de solutions techniques. En 2000, lorsque la méthode avait été appliquée sur suffisamment d'études, un audit d'évaluation a été réalisé auprès du service créativité et des services demandeurs, afin de définir des axes d'amélioration de la démarche. Cet audit a consisté en une série d'une vingtaine d'entretiens semi-directifs d'environ une heure avec prise de notes et analyse de contenu lexical. Les résultats ont montré que l'apport du service créativité était bien réel. Cependant des améliorations étaient nécessaires, du fait d'un manque de formalisation de certaines étapes telles que l'analyse de la demande (AD) ou le déploiement des idées (DI) - capitalisation et exploitation des données. En revanche la phase de production d'idées (PI) a été considérée comme très satisfaisante. Par ailleurs, il s'est avéré que les résultats de créativité pouvaient être altérés par un positionnement inadéquat de l'action en créativité au sein des projets de conception de nouveaux produits, et de manière plus globale par une position non clarifiée du service Créativité et de ses actions dans l'entreprise.

3/ Une troisième phase de *définition des points d'amélioration et de proposition de solutions concrètes d'optimisation du processus de production d'idées innovantes* a permis d'identifier les causes exactes des problèmes identifiés au préalable et de proposer et expérimenter des solutions. L'investigation s'est basée sur une douzaine d'interviews en suivant la même approche que dans la phase 2 [Rc22, Rc20], qui portait cette fois-ci plus précisément sur les phases d'analyse de la demande (AD) et de déploiement des idées (DI). Les résultats ont permis de définir des spécifications pour un processus global de créativité industrielle. Un modèle théorique a été proposé dans le cadre de la thèse de A. Groff, qui a été expérimenté en conditions réelles. L'optimisation s'est basée sur la recherche d'une meilleure adéquation aux besoins grâce à la définition de différents supports et indicateurs comprenant un document contractuel pour préciser la demande du commanditaire et orienter le choix des outils et la réponse en créativité, et des supports tels que des fiches-concepts ou fiches-concepts approfondis métiers pour atteindre un état de concrétisation suffisamment précis en complément des fiches idées. Ces supports sont accompagnés d'indicateurs d'inventivité, d'exploitabilité, de qualité, et de coûts, permettant d'évaluer les idées, concepts, et concepts approfondis métiers, le tout étant accessible via un système de

capitalisation. La nouvelle démarche s'appuie ainsi sur une clarification précoce du positionnement de l'action en créativité au sein des projets via un document contractuel de départ. Une demande peut ainsi être refusée si le positionnement souhaité par le demandeur est inadéquat. La phase d'analyse de la demande qui fait intervenir le commanditaire et la cellule d'animation, doit elle-même être formalisée de manière écrite via le contrat. Concernant la partie aval, de nouveaux outils tels que grilles d'évaluation des idées, concepts, concepts approfondis métiers, permettent d'effectuer les choix selon les indicateurs. Par ailleurs l'exploitabilité des idées est accrue du fait de leur degré d'approfondissement plus poussé.

- **Thèse de Arnaud Groffen co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Optimisation de l'innovation par l'élaboration d'un processus de créativité industrielle (collaboration PSA) [T3]**

Le projet de mise en œuvre d'un processus de production de solutions innovantes par l'intégration de la créativité a constitué le terrain expérimental de la thèse de A. GROFF intitulée : *Optimisation de l'innovation par l'élaboration d'un processus de créativité industrielle : cas de l'industrie automobile*, soutenue en mai 2004.

Objectifs de la thèse

Cette thèse nous a amenés à réfléchir sur l'optimisation de l'innovation dans le secteur automobile. Cette optimisation devait couvrir la phase de recherche de solutions avec un processus de concrétisation suffisamment poussé pour que les solutions soient acceptées au sein de l'entreprise. Nous avons investigué des thématiques telles que l'organisation de l'activité de recherche de solutions innovantes en conception de produits industriels, avec le souci d'améliorer l'efficacité et l'adéquation du travail entre les équipes projets et les services créativité et innovation. La contribution expérimentale a porté sur la définition d'un processus de créativité industrielle (PCI) et les moyens de le piloter.

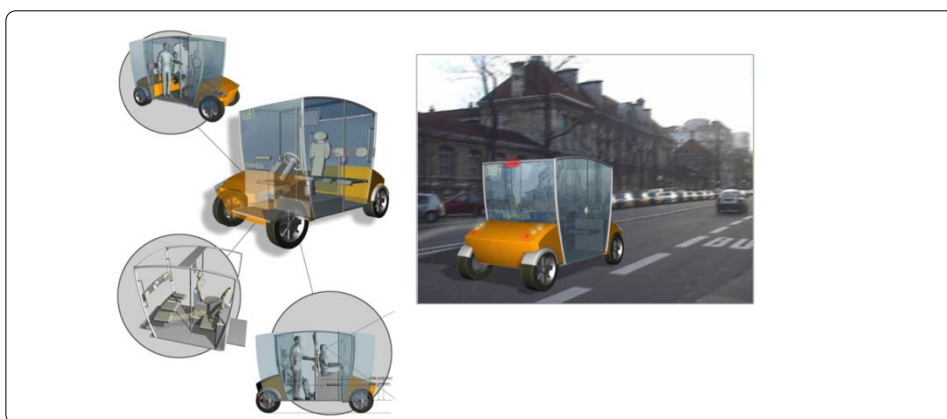


Figure 42: Matérialisation précoce des concepts de solutions innovantes en imagerie de synthèse

Bien que la démarche proposée initialement ait fait ses preuves sur le plan créatif, son application souvent trop ponctuelle a engendré des problèmes de positionnement. Nous nous sommes donc situés face à une problématique d'optimisation d'une activité au sein d'une organisation industrielle et de son positionnement au sein des activités courantes de conception et développement. Pour répondre à cette problématique, la thèse a proposé un modèle opérationnel de processus de créativité industrielle structuré selon les trois phases d'Analyse de la Demande (AD), de Production d'Idées (PI) et de Déploiement des Idées (DI).

Problématique et hypothèses

La phase de production d'idées (PI) ayant été intégrée puis validée dans l'entreprise, un nouvel audit a permis d'apporter des spécifications pour un outil d'aide à la décision portant principalement sur les phases AD et DI qui n'étaient pas intégrées jusqu'alors au sein de la démarche de créativité. L'*analyse de la demande* doit être caractérisée pour être correctement traitée. Les critères d'évaluation du processus créatif et de ses livrables sont à préciser dès cette étape avec une définition des attentes du demandeur grâce à des indicateurs tels que le niveau d'innovation et le type de livrable attendu. Les solutions d'amélioration proposées pour la phase d'AD visaient une plus grande exploitabilité des solutions grâce à une formation minimale des animateurs créativité dans les domaines traités, l'amélioration du management de l'activité du service avec des contrôles de validité, une formalisation et une lisibilité des actions du service créativité, l'augmentation des moyens et ressources dans les phases de préparation-exploitation-suivi, une synchronisation plus poussée avec ce qui se passe dans l'entreprise, une diminution du temps de réponse et à la garantie d'un meilleur positionnement des actions TRIZ. Concernant la phase de *Déploiement des idées*, des points faibles ont été identifiés tels que des problèmes de manque de concrétisation, de formalisation et de diffusion insuffisante des solutions, d'où un manque d'exploitabilité et d'appropriation des solutions par le demandeur. Les répondants ont aussi émis le besoin d'avoir à disposition des données consultables dans un système de capitalisation regroupant les livrables de la créativité. Selon eux, ces données devraient respecter un formalisme standard qui témoigne d'une certaine crédibilité technique. Afin d'apporter une plus grande objectivité dans le choix des solutions, des critères de sélection définis dès le départ peuvent permettre un classement des solutions produites. Le système de capitalisation idéal proposé par les répondants serait un système simple, ouvert, et accessible aux métiers ou aux projets. Il serait utilisable comme support de réflexion pour lancer des études. Le contenu pourrait regrouper des données salons, des produits, des résultats d'études, des innovations automobiles. Il serait complété par un journal d'activité du service créativité qui favoriserait le contact direct avec les membres du service créativité-innovation. Il serait aussi un moyen de montrer des expériences dans d'autres secteurs industriels et comporterait des informations sur les thèmes veille procédés, marketing traduction du marketing en projets de conception, améliorations technologiques avec TRIZ, innovation de rupture avec tests consommateurs, tendances, nouvelles technologies, données socioculturelles ...

Expérimentations

La thèse de A. Groff a permis de formaliser un outil opérationnel pour les phases critiques d'AD et de DI, de l'expérimenter et de le valider sur le terrain. Cet outil d'aide à la décision est un formulaire numérique imprimable qui permet de renseigner un projet créativité sur les diverses dimensions évoquées dans les résultats d'audit. Il permet de définir de manière optimale les dimensions déterminantes du problème à résoudre, les moyens à mettre en œuvre, et de vérifier la pertinence de l'action créativité. Il sera discuté dans la partie suivante *Modèle, apports*.

Modèle, apports

Pour la phase d'*analyse de la demande*, le modèle théorique (voir figure 45) nous a conduits à la définition d'un outil dénommé *tableau de bord*. Ce *tableau de bord* propose un formalisme consensuel entre le demandeur et l'expert créativité pour pallier à tout problème d'interprétation de la réussite ou non de l'action créativité qui sera menée. Il permet de définir objectivement un profil du *projet créativité* selon les environnements technique, stratégique et de gestion qui conditionnent fortement l'action créativité [Wegmann, 1999, Durand, 2000].

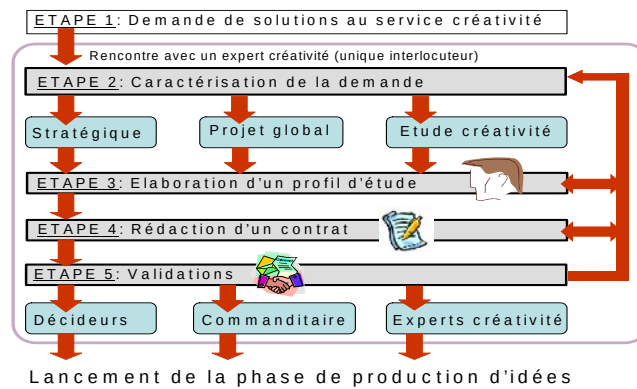


Figure 43: Processus opérationnel d'Analyse de la Demande (AD)

Ce tableau de bord (voir figure 45) permet de classer les projets selon une typologie pré-définie. Il apporte systématiquement des données sur le contexte du projet dans lequel s'intègre l'action créativité, qui comprend le besoin réel du commanditaire, la stratégie associée, les enjeux et objectifs visés, les contraintes, le périmètre de la demande, ses antécédents, son impact, les contradictions, les critères de jugements, les moyens ou les ressources attribués et le planning associé à l'action créativité. Cet outil nécessite une prise de position dès la phase d'analyse de la demande sur la base de critères d'évaluation et de sélection des idées ou solutions, sur l'exploitation des données, sur la mise en synergie les idées produites et des projets, sur la future exploitation souhaitée et sur l'implémentation du système de capitalisation. En ce sens ce tableau de bord permet de mesurer la performance et d'assister le pilotage stratégique du projet. L'outil présente l'intérêt de faire ressortir une vision d'ensemble du projet dans lequel s'intègre l'action créativité, et surtout de faire expliciter l'ensemble des sentiments subjectifs du commanditaire. Si les protagonistes valident, la forme contractuelle du document support permet d'éviter tout quiproquo et guide ainsi l'AD vers un interlocuteur unique.

Figure 44: Tableau de bord Contract Créativité

Pour la phase de *déploiement des idées*, nous nous sommes orientés vers un processus en plusieurs phases avec des rendus de plus en plus concrets pour aider dans le processus d'appropriation [Barthes, 1997, Grundstein, 2001]. Un premier modèle du processus de déploiement des idées a été proposé (figure 46), qui préconise plusieurs phases de concrétisation avec un approfondissement et une appropriation progressive réalisée par les métiers. Le travail en plusieurs phases permet d'extraire le maximum de données de la session en créativité pour un déploiement complet des idées vers leur exploitation. La réduction progressive du

champ des possibles est facilitée par l'outil qui assiste l'évaluation et la sélection des idées. La formalisation de rendus intermédiaires spécifiques facilite l'enregistrement et la capitalisation des informations, l'amélioration continue et à fortiori, permet d'optimiser leur utilisation dans la mesure où l'on sait par avance quel contenu on trouvera dans telle ou telle base de données. Elle rend possible la réutilisation de ces données selon les attentes des utilisateurs potentiels du système de capitalisation.

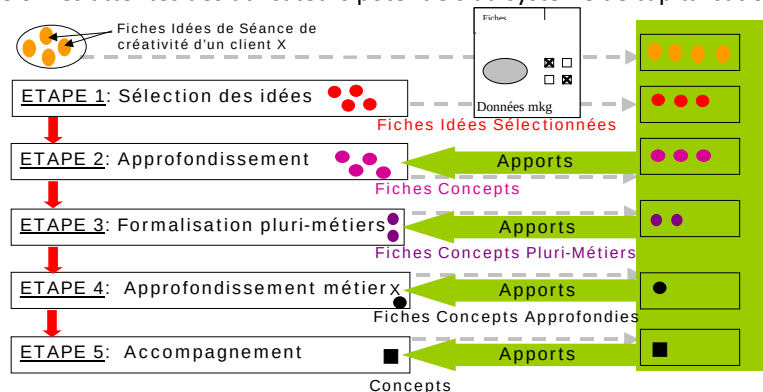


Figure 45: Processus opérationnel de Déploiement des Idées (DI)

En définissant un processus de créativité industrielle et son outil de pilotage, nous avons cherché à optimiser l'innovation en conception. Le processus de créativité industrielle n'a pas pu être validé dans son intégralité en contexte de conception automobile, où les projets sont complexes et dont la durée dépasse le cadre d'une thèse. Afin de traduire le modèle expérimental en solution opérationnelle, une expérimentation de l'outil a été réalisée en conditions réelles sur un projet partiel d'innovation du secteur automobile (châssis modulaire). Des expérimentations complémentaires ont été effectuées dans d'autres secteurs comme ceux du packaging, de la cosmétique et de la bagagerie, pour lesquels les cycles de conception sont plus courts. Un prototype papier de l'outil a été élaboré puis utilisé dans le cadre de projets réels par les commanditaires et experts en créativité.

En 2003, un nouvel audit élargi à ces secteurs a permis de faire état des forces et faiblesses de l'outil. Dans le cadre de *l'analyse de la demande*, l'outil a été considéré comme très pertinent en ce qui concerne les contenus recueillis, et comme permettant d'identifier les demandes à risques pour réagir en conséquence. La pertinence des thèmes abordés permettait selon les répondants d'adapter la réponse de manière adéquate aux profils des demandes en termes de clarification des objectifs et de moyens à mettre en œuvre. Concernant la phase de *déploiement des idées*, la déclinaison des fiches idées en points de vues métiers (technique, usage, design, marketing) permet une appropriation par le groupe mais peut cependant s'avérer lourde dans l'usage. Malgré tout, il est apparu lors du précédent audit (audit 2000) que les résultats étaient aussi jugés sur le niveau de définition des rendus. Les experts créativité doivent donc faire traduire le plus possible les idées obtenues en solutions exploitables. Les restitutions approfondies, l'élaboration de livrets d'illustration et de description technique et l'intervention du style pour l'illustration en phase de divergence et la synthèse visuelle en phase de conceptualisation, se sont avérées autant de points forts pour apporter une crédibilité technique et un impact de communication important. La numérisation des données est souhaitée afin de capitaliser la connaissance et de pouvoir la ré-exploiter en créativité. La traçabilité numérique facilite la ré-exploitation des données produites et leur diffusion. L'exploitation optimale des idées doit reposer sur un processus de validation intermédiaire pour spécifier et enrichir petit à petit l'idée pour arriver à des solutions communicables et exploitables directement. D'autre part, l'informatisation d'un tel outil peut contribuer à véhiculer une image de modernité dans l'entreprise.

L'action de recherche que nous avons menée a été motivée à la fois par un constat scientifique et par une problématique industrielle. Nous avons amélioré l'efficacité de la créativité appliquée et dans une certaine mesure son intégration.

Conclusion

En conclusion de cette thèse, le processus de créativité industrielle proposé permet d'intégrer les dimensions stratégiques et managériales au sein de l'action des experts en créativité. Il s'appuie sur une capitalisation des idées produites et favorise l'exploitation des solutions. Il prend en compte les spécificités métiers et contribue ainsi à améliorer le travail pluri-disciplinaire en favorisant la mise en synergie des solutions. Il a pour but de minimiser les risques d'échecs des projets de recherche de solutions créatives. Pour ce faire, nous avons tout d'abord identifié quels étaient les paramètres influents sur la réussite ou non d'une étude de créativité. Sont apparues comme majeures les influences politiques qui n'étaient la plupart du temps pas exprimées par les individus, ainsi que celles liées au projet parent ou à l'action créativité elle-même. L'outil permet d'élaborer des stratégies de créativité qui généreront des solutions le plus en adéquation possible avec les attentes des commanditaires, et de faciliter l'appropriation et le portage de ces solutions jusqu'à de réelles innovations. Celles-ci peuvent être interprétées en fonction des attentes métiers, une idée pouvant alors déboucher sur plusieurs solutions selon le profil métier qui l'analyse. Cela permet de diffuser les idées créatives et de favoriser leur appropriation par d'autres services.

4.3.2 Computation de la phase générative

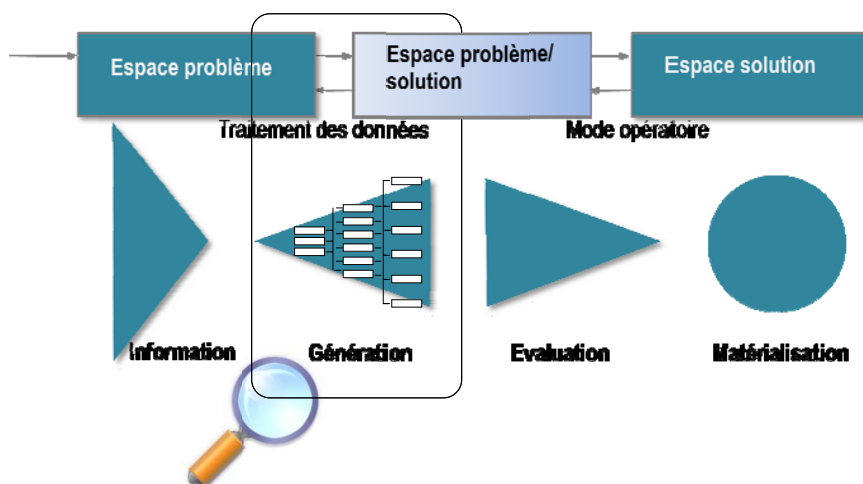


Figure 46: Computation de la phase générative

• Introduction

La recherche que nous menons sur la computation de la phase générative porte avant tout sur les processus cognitifs pris de manière individuelle. Elle vient compléter notre modèle initial dans les phases amont de la conception lors de la phase de génération de formes qui constitue une étape clé de la phase de *Développement de concepts*. C'est lors de cette étape que va naître un nouveau concept avec la recherche de la *bonne forme*. En complément, nous comptons étendre cette recherche à la définition d'outils computationnels comme supports à la créativité collective. Concernant les systèmes de génération de forme, certaines approches portent sur des techniques évolutives et plus particulièrement sur les opérations génétiques qui permettent de générer un grand nombre de solutions. Ces approches répondent à un besoin de variété en permettant la génération semi-automatique de solutions. Les règles

supports formalisent des opérations de combinaison et de transformation de modèles ou de parties de modèles de produits. L'émergence provient du rapprochement de deux éléments en en faisant émerger un troisième, ou de l'application d'opérations génétiques sur des modules élémentaires qui seront assemblés par la suite. Chez les designers, le processus de génération de formes est fortement dépendant de l'intégration d'images mentales. Dans la mesure où l'ensemble des images de départ doit nécessairement être de plus en plus important, une aide peut leur être apportée pour pré-visualiser des formes issues d'images sources lors de la génération d'esquisses. C'est l'orientation choisie dans le cadre du projet GENIUS décrit ci-après. Après avoir investigué les systèmes de génération existants dans les domaines du design et de l'architecture, nous avons modélisé des processus cognitifs lors des phases génératives. Je mène ce travail avec J. KIM qui réalise sa thèse sur le sujet. Cette modélisation réalisée à partir d'une observation des activités des designers vise à définir des formalismes et règles implémentables par des algorithmes. Dans le cadre du projet GENIUS, nous avons eu pour objectif de proposer un modèle orienté sur les opérations cognitives implicites qui surviennent en amont des phases génératives, c'est-à-dire entre les phases inspirationnelles et celles de production d'esquisses.

Lors de la thèse initiale **[T1]**, nous avons identifié des routines lors de la production d'esquisses dans le domaine du design automobile **[Ri3]**. Nous avons aussi mis en évidence le processus de transformation de l'information, tant haut-niveau (type + référent) que bas-niveau (lignes). Ce premier modèle a révélé l'intégration progressive et la mise en relation des données (voir figure 48).

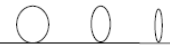
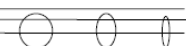
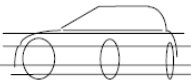
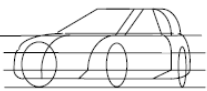
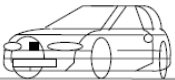
	Object	Signifier	Referent	Type
1	Wheels Ground		Orientation Type of vehicle Global proportions	Type of vehicle
2	Package middle Line of top of bumper Package bottom		Orientation Type of vehicle Global proportions	"
3	Bonnets outline Front windscreen outline Roof outline		Orientation Type of vehicle Global proportions Silhouette of the vehicle Brand Character	"
4	Bumpers Doors Bonnet Glasses		Orientation Type of vehicle Global proportions Silhouette of the vehicle Brand Character	"
5	Details Logo Constituents		Orientation Type of vehicle Global proportions Silhouette of the vehicle Brand Character	"

Figure 47: Matérialisation graphique [Ri3]

Dans le cadre du projet GENIUS, nous avons complété ce modèle en quantifiant les informations de types *haut-niveau* (valeurs-descripteurs sémantiques-styles) *moyen-niveau* (secteurs-analogies-contextes-fonctions) ou *bas-niveau* (couleurs-formes-textures) inhérentes à la génération d'esquisses, en référence aux modèles de données établis dans le cadre du projet TRENDS **[Ci25, Ci26]**. Nous avons aussi identifié et quantifié les opérations cognitives avec pour objectif une modélisation des processus cognitif et affectif. Les opérations cognitives identifiées sont l'attention, la perception, le questionnement, l'association (ascendante, descendante ou équi-niveau), la transformation et le jugement.

- **Systemes computationnels d'aide à la génération de formes**

Les systèmes computationnels d'aide à la génération de formes se basent sur deux logiques. L'une établit un lien entre un état initial et un état souhaité en passant par des opérateurs. L'autre explore l'espace problème afin d'identifier un résultat qui correspond aux objectifs. La computation semi-automatique de formes produit des RI à partir de formes élémentaires et de règles appliquées à ces formes. De nombreuses applications ont été développées en architecture avec les tous premiers systèmes intelligents issus de l'IA [El Shafie, 2000], puis les recherches de Gero ont ensuite fait référence dans le domaine à travers les conférences *CAAD Futures* et *Design Computing and Cognition*. Ces recherches formalisent les processus cognitifs induits lors de la génération de formes par l'humain et mentionnent des technologies adéquates telles que la *reconnaissance de formes* ou les *algorithmes génétiques* [Gero, 2002]. Dans le domaine du design, les applications sont plus rares et les types de formes utilisés sont généralement beaucoup plus complexes. Hsiao [Hsiao & al, 1997, 2002, Lai, 2005] a établi des systèmes paramétriques basés des réseaux de neurones et capables de générer et d'explorer l'espace solutions en effectuant des réglages sur des formes de base. Un état de l'art plus récent [Jowers, 2006] s'applique à la *grammaire de formes* comme modèle computationnel du processus de design. Les systèmes de génération de formes permettent de générer des solutions design en entrant dans le système des données de base. Parmi les nombreuses approches disponibles, aucune ne prend en compte les nombreux facteurs très complexes qui permettent d'aboutir à la *bonne forme*. Cependant, les systèmes experts en *génération* et notamment ceux qui intègrent une *grammaire de formes* paraissent prometteurs pour le futur. Ils se basent sur une approche morphologique qui décompose un objet en parties élémentaires. D'autres outils ont été développés dans les domaines du design et de l'architecture, capables de générer différentes variantes à partir des mêmes contraintes initiales. Ils créent des arrangements géométriques optimisés au regard des contraintes à intégrer. La *génération* et la *catégorisation* de formes sont des fonctions qui ont été peu explorées jusqu'à présent et qui, lorsqu'elles sont traitées, le sont de manière séparée. Sur l'ensemble des systèmes investigués, environ les deux tiers sont des systèmes de *génération* de forme, et un tiers des systèmes de *catégorisation*.

La *génération* s'appuie sur une logique de génération pure [Sata & al, 2001, Shiroma, 1999] ou de génération paramétrique qui module l'intensité de paramètres pour apporter des variations formelles autour de formes pré-existantes [Jindo, 1995, Hsiao & al, 1997, 2002, Maekawa & al, 2003, Liu, 2004, 2006, Lai, 2005, Okabe, 2005]. Il existe par ailleurs des systèmes basés sur l'interpolation de forme qui opèrent à partir d'une forme de départ [Watabe, 1998, Dipaola, 2007] ou d'une forme de départ et d'arrivée [Wang, 1995, Hsiao & al, 2002, Gero, 2002]. Dans de nombreux cas ces dispositifs permettent aussi d'évaluer les formes générées.

La *catégorisation* s'applique à des systèmes d'archivage numérique d'images sans corrélation avec l'activité de *génération*. Ces systèmes s'appuient la plupart du temps sur une annotation manuelle réalisée par les designers [Nakakoji, 1998, Oshima, 2004, Hyun-Oh, 2007]. Ceux-ci entrent des labels en visualisant des images de produits, qui sont ensuite intégrés au système pour exécuter les liens texte-images utilisés pour retrouver les images. Les outils les plus conviviaux proposent une visualisation d'ensemble des résultats via des outils MDS (Multi-Dimensional Scaling). Certains dispositifs ont une visée collaborative. C'est le cas du dispositif IVIDI qui propose un accès collectif à la base de données pour des systèmes qui intègrent des droits d'accès en lecture ou écriture [Hyun-Oh, 2007].

La plupart des outils de *génération* présents sur le marché touchent plus la *production d'esquisses* et le *dessin*. La modélisation 3D est réalisée par l'utilisateur et le système supporte la modélisation en temps réel en permettant une visualisation du modèle.

Les designers utilisent des outils numériques de matérialisation graphique et d'imagerie de synthèse. Aujourd'hui, ces outils ne permettent pas de réaliser un passage automatique entre la 2D et la 3D. La génération d'esquisses libre reste difficilement intégrable au sein des outils 3D. Il existe en complément des systèmes de production d'esquisses [Sedivy & Johnson, 2000] qui sont moins novateurs d'un point de vue fonctionnel. On trouve enfin des outils de modélisation plus proches des outils de CAO classiques, qui incorporent de nouvelles fonctionnalités (lien avec la sémantique [Giannini, 2002], modelage libre contextuel). Malgré la rareté des systèmes, il est probable que les fonctions de *génération de formes* et de *catégorisation* seront progressivement intégrées aux outils futurs de conception assistée par ordinateur.

Les systèmes de génération disponibles ne proposent généralement pas d'interface utilisateur. Les avancées de recherche portent plus sur les méthodes ou les algorithmes supports non visibles par l'utilisateur final. En revanche les systèmes de catégorisation présentés proposent une interface utilisateur à partir de laquelle celui-ci peut entrer des labels texte ou choisir des libellés parmi des catégories pré-existantes. En termes d'affichage de données, les systèmes de génération sont plutôt tournés vers une visualisation 3D, et les systèmes de catégorisation vers une visualisation 2D. Bien que les designers travaillent davantage à partir de silhouettes 2D pour générer la *bonne forme*, les systèmes de génération portent généralement sur des résultats 3D. D'autre part, les outils présentés pour la génération se focalisent en général sur la silhouette externe des solutions design, à l'exception de ceux qui proposent une génération basée sur la combinaison de modules formels et fonctionnels. Concernant l'interactivité, certains outils de génération sont basés sur une interaction de l'utilisateur au cours de la génération. Dans la plupart des cas cette interaction se limite à entrer des données pour obtenir un résultat, et ces données seront intégrées dans le fonctionnement du système pour les futures requêtes. Dans le cas des systèmes évolutionnaires, l'utilisateur peut faire intervenir les opérateurs pour faire évoluer un volume, une texture, un état de surface... Concernant les systèmes paramétriques, les données ordinales entrées par l'utilisateur (chiffres, curseurs) permettent de régler la sémantique attribuée à des éléments design répondant à une décomposition morphologique du produit selon une grammaire de formes pré-définie.

Les technologies reposent sur différents types d'algorithmes et de techniques de description tels que : *algorithmes génétiques*, *réseaux de neurones*, *algorithmes de transformation géométrique*, *transformées de Fourier* et *grammaire de formes*. Les algorithmes génétiques permettent de générer des formes librement et sont ainsi adaptés à une certaine créativité. En revanche les réseaux de neurones s'orientent généralement vers la modification de formes paramétrables en réglant certains critères qui peuvent être sémantiques ou formels.

- ***Processus cognitifs et affectifs des designers lors des phases génératives***

Notre objectif de recherche est la modélisation des processus cognitifs et affectifs lors des phases génératives, pour affiner le modèle initial dans ces phases et aboutir à un modèle cognitif qui nous aidera dans la définition d'un outil numérique d'aide à la génération de formes dédié aux designers. Ce outil s'appuiera sur des algorithmes capables de relier entre eux les différents niveaux d'abstraction de l'information. Aujourd'hui la nécessité d'intégrer toujours plus de données pour répondre au besoin d'innover appelle de nouveaux outils d'AAC. Comme nous l'avons vu dans l'analyse de la phase informationnelle, l'ordinateur peut constituer un support pour les designers, en leur permettant de visualiser, catégoriser et traiter de très grandes quantités d'images et donc d'accroître leur potentiel créatif. La visualisation d'images peut aider le designer à se construire une représentation mentale enrichie avant la génération d'esquisses. La catégorisation mentale réalisée par les designers s'effectue à la fois selon les dimensions sémantique, axiologique et bas-niveau. Les futurs systèmes se

doivent de prendre en compte ces données hétérogènes sans pas contraindre les processus cognitifs naturels des designers. Le processus de génération de formes est en partie lisible au travers de la série d'esquisses qu'élaborent les designers jusqu'à l'aboutissement à la *bonne forme* [Ri3] (voir figure 49).

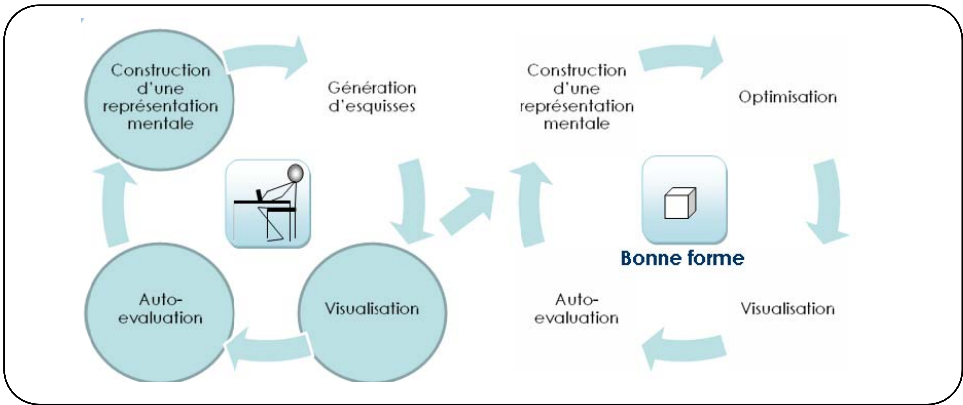


Figure 48: Processus de génération de la bonne forme [Ri3]

Pour générer de nouvelles formes, les designers font appel à des informations qu'ils ont en mémoire ou qui sont présentes dans leur environnement immédiat. L'approche expérimentale menée dans le cadre du projet GENIUS nous a permis à la fois d'extraire les types d'informations utilisées par les designers, ainsi que les transformations qu'ils appliquent à ces informations. Les processus de catégorisation mentale sous jacents à l'activité de génération d'esquisses ont été mis en évidence. Lors de cette phase, les designers conceptualisent de nouvelles solutions en réalisant la synthèse visuelle de différentes sources d'inspiration. Le traitement de l'information constitue ici une tâche où la subjectivité est importante et entraîne une variabilité significative entre les designers. Afin de consolider les résultats, nous avons doublé l'analyse quantitative par une analyse qualitative.

La première expérimentation a eu pour finalité la modélisation des processus cognitifs des designers lors des phases de génération d'esquisses (voir thèse J. Kim). Nous avons extrait des éléments tels que la nature et la quantité d'informations utilisées ou traitées par les designers (sémantiques, formelles ...), les types d'opérations cognitives implicites et les liens qui s'effectuent entre ces différents types d'informations, avec en particulier la relation entre des descripteurs sémantiques ou émotionnels et bas-niveau. A titre d'exemple, la figure suivante montre quelles ont été les opérations cognitives engagées lors d'une session de production d'esquisses, avec le pourcentage d'occurrence observé pour chaque opération cognitive par designer. Nous constatons que l'opération d'association est celle qui apparaît le plus fréquemment chez la majorité des designers dans le cadre expérimental que nous avons défini, c'est-à-dire en l'absence de sources extérieures spécifiques présentes dans l'environnement. L'attention sélective a été l'opération cognitive la moins présente.

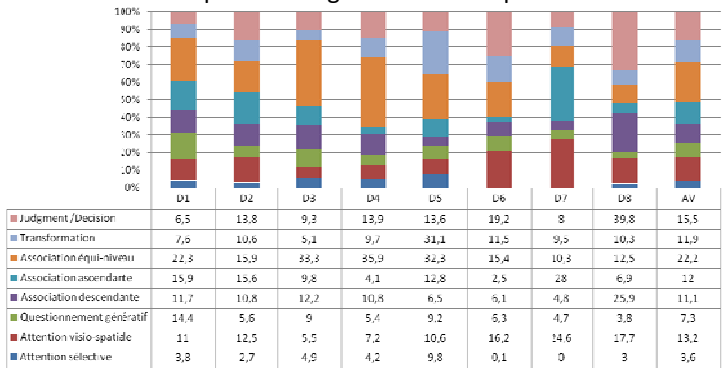


Figure 49: Opérations cognitives engagées lors de la session

Cette expérimentation a aussi fait l'objet d'une pré-analyse de l'impact des réactions émotionnelles sur les processus cognitifs. Le recueil d'information s'est basé sur la méthode *think-aloud*, une technique de verbalisation simultanée qui permet d'analyser la *pensée design* pendant le dessin [Bilda & Gero, 2007, Coley & al, 2007, Cross, 2008] in [Ci8]. Cette méthode a été complétée par une verbalisation consécutive à l'activité sur la base d'interviews semi-directifs afin de palier aux possibles déficiences relatives à l'interprétation des données produites dans le cadre de l'approche de raisonnement à voix haute [Lindlof & Taylor, 2002]. En effet si certains chercheurs avancent que la méthode *think-aloud* reflète la mémoire de travail (MDT) en faisant ressortir les étapes du processus de conception [Dorst & Dijkhuis, 1995, Ericsson & Simon, 1993], d'autres pensent que la verbalisation simultanée peut entraver la nature du processus de conception [Davies, 1995, Lloyd & al, 1995]. Cependant la verbalisation consécutive à l'activité seule apporterait une information insuffisante et réinterprétée à cause du déclin de la MDT. [Gero & Tang, 2001, Bilda, 2006] ont montré que les protocoles de verbalisation simultanée et les protocoles de verbalisation consécutive à l'activité ont des résultats similaires dans le cas où les aspects sont centrés sur le processus de conception. Etant donné que cela reste encore confus, nous avons choisi de conserver les deux approches dans l'expérimentation 1[Ci8].

- ***Des processus cognitifs à l'élaboration de règles***

La définition de règles relatives à la génération de formes nécessite une compréhension fine des processus cognitifs des designers lors d'opérations de catégorisation mentale afin de pouvoir définir les descripteurs de forme pertinents. Dans le cadre du projet GENIUS, nous avons procédé avec MJ. Lesot [Ci4] à une formalisation de règles à partir de tables de données issues d'annotations sémantiques d'images réalisées par les designers. Ces règles ont pour vocation de découvrir des relations entre des descripteurs sémantiques lexicaux et une description numérique de la forme. L'objectif est d'étudier la transversalité de ces règles en les appliquant à d'autres secteurs que celui qui est actuellement étudié (flacons de parfum). Ma recherche a porté sur la définition et la mise en œuvre d'un protocole d'acquisition et de formattage des données pour leur traitement par des algorithmes de clustering.

- ***Thèse de Jieun KIM en co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Modélisation des processus cognitifs et affectifs relatifs aux phases génératives en conception amont***

Le projet GENIUS constitue le terrain expérimental d'une partie de la thèse de Jieun KIM intitulée *Modélisation des processus cognitifs et affectifs relatifs aux phases génératives en conception amont* qui est en cours de réalisation.

Objectifs de la thèse

Cette thèse a pour finalité l'analyse de l'activité des designers en vue de formaliser les processus cognitifs et affectifs qui interviennent lors des phases génératives. Un tel modèle est nécessaire pour, à partir d'une extraction de la connaissance et des règles design, élaborer de nouveaux outils numériques qui supporteront la production d'esquisses. L'impact émotionnel sur les processus cognitifs doit être analysé, ainsi que les types d'information qui entrent en jeu et comment ils sont transformés ou catégorisés à travers des opérations cognitives pendant la réalisation d'esquisses. La première expérimentation a été réalisée dans le cadre du projet GENIUS.

Contexte scientifique et industriel

Aujourd'hui, nous sommes passés d'une société de l'information et de la connaissance à une société de la créativité et de l'innovation. Dans ce contexte, la génération d'idées

créatives et le temps de développement et de mise sur le marché des idées deviennent cruciaux. Les phases amont du design sont par nature implicites. Afin de développer de nouveaux outils computationnels pour supporter l'activité des designers dans ces phases, l'approche de modélisation des processus cognitifs permet d'établir des règles transférables en outils computationnels [Ci18]. Les trois limitations majeures que nous retenons à propos des supports computationnels pour les designers sont les suivantes: les modèles de processus de catégorisation mentale de l'information effectués par les designers sont rares voire inexistantes. Cela induit une difficulté à définir les spécifications pour des outils d'AAC dédiés aux phases précoces, notamment celles de génération d'esquisses. D'autre part la considération de l'impact des processus émotionnels sur les processus cognitifs est absente.

Problématique et hypothèses

Si de nombreuses recherches se sont penchées sur les formalisations explicites inhérentes à l'activité de génération d'esquisses en design et en architecture, peu d'entre elles ont traité des phases informationnelles, et encore moins du passage entre les phases informatives et génératives.

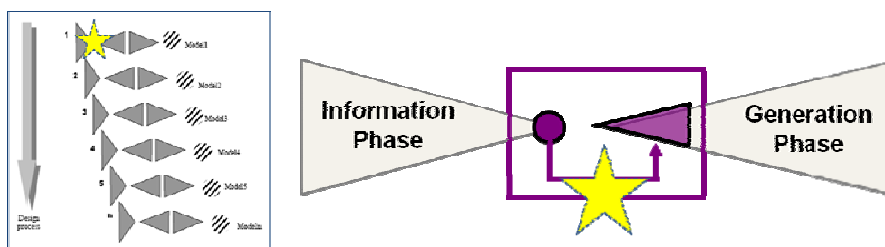


Figure 50: Phase d'émergence, entre la categorization mentale et la génération [Ci15]

Notre problématique porte sur la compréhension et la formalisation des opérations de traitement implicite de l'information par les designers, et des processus affectifs en jeux. Pour répondre à cette problématique, deux voies sont explorées dans le cadre de la thèse: la première hypothèse avance que les processus de catégorisation induits peuvent être modélisés en extrayant les représentations mentales et que ce modèle peut apporter des spécifications pour le développement d'un outil d'AAC. La seconde est que le processus émotionnel inhérent à ces phases impacte fortement les processus cognitifs. La réponse sera un modèle des processus mentaux de catégorisation de l'information en considérant la dimension émotionnelle induite. Le modèle théorique sur lequel nous nous appuyons (voir figure 52) intègre les modèles d'Atkinson, celui de Shiffrin's (1958), et celui de Baddeley's (2009) qui fait intervenir la mémoire de travail [Atkinson & Shiffrin, 1968, Dix & al, 1993]. Les étapes engagées dans les processus de catégorisation mentale de l'information sont l'*encodage* de la Mémoire Court Terme vers la Mémoire Long Terme (MLT) selon un type de format qui peut être intégré dans la MLT (chunk). Le *stockage* en MLT s'opère selon un réseau d'associations constitué de noeuds et de liens qui structure la catégorisation mentale et le *rappel* d'informations au sein de catégories de la connaissance de la MLT. Chaque noeud peut contenir des concepts, des mots et des images, ou toute autre information, et constitue une association entre deux noeuds. [Broadbent, 1958] a proposé une séquence d'opérations cognitives qui font intervenir les deux types de processus *ascendant*, provoqué par des stimuli sensoriels et émotionnels et *descendant*, conduit par la mémoire et poussé par un chemin conceptuel dépendant de la connaissance acquise au cours de l'expérience passée. La première expérimentation que nous avons menée a porté sur le processus descendant dont le caractère est implicite. Afin de couvrir l'activité globale de conceptualisation amont, nous avons retenu 6 opérations cognitives: l'*attention sélective*, l'*attention visuo-spatiale*, le *questionnement*, l'*association* (ascendante, descendante ou équi-niveau), la *transformation* et le *jugement* orienté vers la décision. Les trois opérations cognitives

de questionnement, d'association et de transformation sont mises en œuvre lors du processus de rappel entre la mémoire court-terme et la mémoire long-terme. Elles sont aussi répertoriées dans le modèle de Genevieve (1992). [Finke & al, 1992] ont décrit plusieurs types d'opérations cognitive sollicitées lors des phases génératives: rappel d'information en mémoire, association, synthèse mentale, transformation mentale, transfert analogique et réduction catégorielle. Certaines d'entre elles telles que la synthèse mentale ou la réduction catégorielle sont difficiles à identifier à travers des verbalisations ou esquisses, mais les trois restantes (rappel d'information en mémoire, association et transformation) peuvent être appréhendées dans la plupart des cas [Finke & al, 1992]. D'autre part nous avons observé que les designers peuvent se poser des questions lors du processus de rappel. C'est pourquoi nous avons rajouté l'opération de questionnement inhérente à ce processus. Les autres opérations que nous avons intégrées dans notre modèle théorique sont celles d'attention sélective, d'attention visuo-spatiale, de jugement et de décision. Le schéma de codage que nous avons défini nous a amenés à une compréhension relativement exhaustive du lien qui peut exister entre les représentations mentales lors du processus de rappel et l'information externe lors des activités de génération d'esquisses, ainsi que les flux liés au processus cognitif de catégorisation mentale de l'information.

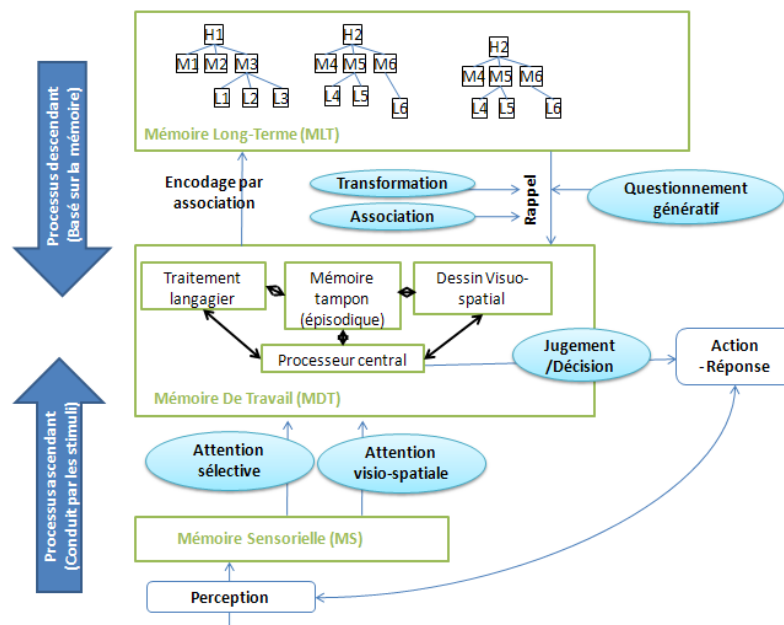


Figure 51: Modèle de traitement de l'information

Expérimentation

L'expérimentation a pour finalité de modéliser les processus cognitifs et affectifs des designers qui interviennent lors des phases génératives. Une première expérimentation a été menée dans le cadre du projet GENIUS sur la formalisation des processus cognitifs, en collaboration avec le laboratoire CHART spécialisé en psychologie cognitive, et les designers de l'agence DIEDRE DESIGN comme utilisateurs finaux du système. Il s'est agi d'identifier les types d'informations et les opérations cognitive mises en œuvre lors de la génération d'esquisses.

Protocole

8 designers produit, dont 2 novices et 6 expérimentés, ont été sollicités pour générer des esquisses à partir d'un CDC fictif en dessinant et en verbalisant simultanément. L'enregistrement vidéo a permis de mesurer la gestuelle relative aux esquisses au niveau des membres supérieurs et d'avoir une vue d'ensemble du designer. Il a été complété par un enregistrement vocal pour le recueil des verbalisations des participants. Nous avons modélisé les processus de catégorisation de l'information

présents durant cette étape. L'analyse a porté sur les opérations cognitives, sur la base des verbalisations réalisées lors de la génération d'esquisses et d'interviews semi-directifs autour des esquisses générées réalisés à posteriori pour compenser le biais du à la verbalisation concurrente [Lindlof & Taylor, 2002].

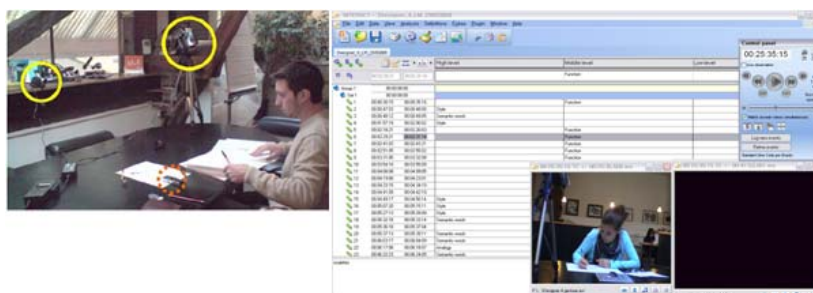


Figure 52: Copies d'écran, codage avec INTERACT
<http://www.mangold-international.com> (Accessed 18 May 2009)

L'expérimentation s'est déroulée dans l'environnement de travail naturel des designers selon 3 phases:

1. Echauffement pour s'habituer à la verbalisation concurrente (15mn),
2. Verbalisation simultanée lors de l'élaboration d'esquisses avec les outils habituels à partir d'un CDC fictif (dessiner l'aspirateur Nike) (45mn)
3. Interviews semi-directifs au sujet des images mentales, des descripteurs sémantiques utilisés, des formes générées et de la relation entre ces trois types de données (30mn).

Nous avons pu constater dans le cadre des tests pilotes que le raisonnement à voix haute ne semblait pas être un frein à l'activité, avec cependant une certaine variabilité entre les designers. Afin de compenser l'insuffisance de la verbalisation simultanée, nous avons associé transversalement un entretien semi-directif. Le contenu des verbalisations a été retranscrit par un codage selon lequel chaque unité de séquence de texte a été manuellement indexée aux intervalles vidéos correspondants avec le logiciel d'analyse vidéo *INTERACT* (2009) qui permet une analyse statistique des résultats. Deux types de codage ont été réalisés: le premier relatif à la nature de l'information et le second aux opérations cognitives. Le codage de l'information a été en partie basé sur le travail mené précédemment dans le cadre du projet TRENDS avec une structuration du contenu par niveau d'abstraction de l'information design [Ref]. On retrouve ainsi les niveaux haut, moyen, bas selon 10 catégories: semantic words *Hs*, values *Hv*, analogy *Ha*, style *Hy*, sector name *Ms*, context *Mc*, function *Mf*, colour *Lc*, form *Lf*, et texture *Lt*. Afin d'identifier les différents types d'information et de transformations, le contenu des verbalisations a été codé sur la base de simples mots clés. La plupart des méthodes d'analyse divisent l'ensemble des résultats en unités correspondant à des segments qui sont ensuite codés selon une grille appropriée [Goldschmidt, 1991, Suwa & al, 1998]. On trouve ainsi les opérations d'attention sélective, d'attention visio-spatiale, de questionnement, d'association (ascendante, descendante ou équi-niveau), de transformation et de jugement orienté vers la décision. Les traces vidéo des esquisses ont permis de compléter ce matériel et de vérifier plus fidèlement le contenu des verbalisations.

Résultats

La catégorisation de l'information par les designers est très subjective. Dans l'objectif de formaliser les processus de catégorisation implicites des designers, nous avons donc utilisé conjointement les deux types d'analyse qualitative et quantitative. Afin d'analyser qualitativement les données pour extraire les types d'informations et les transformations et catégorisations qui leur sont appliquées durant la génération d'esquisses, nous avons formalisé des cartes de catégorisation d'idées (Idea categorization map) [Goldschmidt, 1991; Suwa et al., 1998] (voir figure 54). Ces cartes

sont composées de mots clés et d'esquisses. En terme d'exploitation, elles permettent d'illustrer les opérations cognitives mises en œuvre ainsi que la progression du traitement de l'informations design. Le passage entre les différentes idées a souvent lieu suite au jugement de l'idée précédente et à une nouvelle prise de décision.

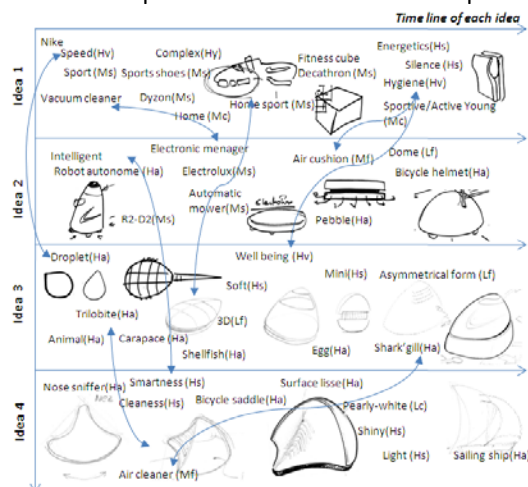


Figure 53: Cartographie de catégorisation d'idées, Designer 5 (quelques flèches aident à comprendre le cheminement des idées du designer).

L'axe des abscisses représente le temps. On peut ainsi observer l'évolution et la transformation de chaque idée ainsi que le processus de synthèse visuelle. L'axe des ordonnées représente la séquence complète de la tâche de génération d'esquisses, et met en évidence le passage d'une idée à l'autre en transformant les idées antérieures. L'analyse qualitative a aussi intégré des table des données lexicales complètes issues des verbalisations et classifiées selon le niveau d'abstraction de l'information. Ces résultats ont eu deux implications. Premièrement, le processus de catégorisation de l'information présenté ici contient les trois opérations cognitives suivantes: rappel d'informations en mémoire, associations et transformation d'idées, selon le modèle proposé par [Finke & al, 1992]. Deuxièmement, la continuité et la discontinuité du cheminement des idées ont pu être observées, et nous supposons qu'il existe certains catalyseurs des liens qui peuvent avoir lieu. La figure 55 montre les pourcentages d'occurrences relatif à chaque niveau d'information : l'information *haut-niveau* couvre en moyenne 47.69% (± 6.91) de l'information design, l'information *moyen-niveau* 36.70% (± 6.96), l'information *bas-niveau* 15.61% (± 7.54). Ainsi, l'information combinée *haut-niveau* et *moyen-niveau* couvre 84.39% du contenu des verbalisations réalisées pendant la génération d'esquisses. Dans le cas de l'information *bas-niveau*, le nombre est en revanche relativement bas car il est exprimé plus à travers les esquisses.

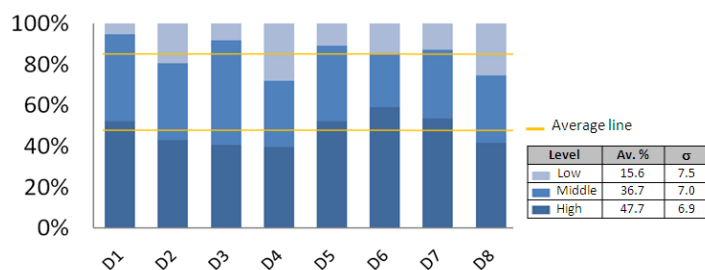


Figure 54: Pourcentage d'occurrences pour chaque niveau d'information design

La figure 56 montre la part quantitative de chaque type d'information par designer selon les trois niveaux d'abstraction de l'information. La première catégorie est liée à la notion de *fonction* (28%) avec principalement les notions d'usage et de fonction principale (*ventilateur, sac à poussière, coussin d'air* etc). La seconde catégorie concerne les *descripteurs sémantiques* (21%) avec des adjectifs liés à la couleur et la forme (*sportif, dynamique, organique* etc). La troisième catégorie concerne les

analogies (19%) issues de domaines comme la nature, la mode, les sports, et l'architecture. Ces métaphores sont à l'origine de transformations visuelles telles que des morphings pour l'adaptation du domaine cible au domaine de départ (exemple de trilobite vers mp3). La quatrième catégorie comporte une description de la *forme* (12%) et concerne la forme et la silhouette. Ces informations sont directement liées au dessin en cours : elles comportent des noms de *secteurs* (8%), *valeurs* (4%), *couleurs* (3%), *textures* (2%), *contextes* (1%) et *styles* (8%).

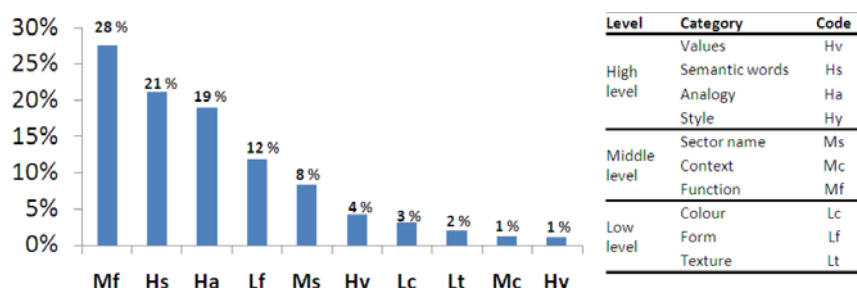


Figure 55: Pourcentage d'occurrence des catégories

Discussion, apports

Grâce à ce travail de thèse, nous avons pu répertorier lors de cette première expérimentation les différents types d'informations mentales mises en oeuvre lors de la génération d'esquisses par les 8 designers selon les différents niveaux d'abstraction de l'information. Les designers ont utilisé majoritairement une information haut-niveau (*descripteurs sémantiques* (Hs) + *analogies* (Hf)). Les catégories les plus sollicitées selon la verbalisation ont été les suivantes: *fonctions* (Mf), *descripteurs sémantiques* (Hs), *analogies* (Hf) et *forme* (Lf), alors que les catégories *style* (Hy), *contexte* (Mc), *texture* (Lt) et *couleur* (Lc) ont été moins souvent citées. Selon [Pasman, 2003] la charge cognitive mise en jeu pour relier l'information de haut-niveau à des images ou vice-versa est supérieure à celle mise en oeuvre pour des attributs bas-niveau. Nous avons aussi observé une variabilité inter-individuelle importante sur les catégories selon les facteurs age, sexe et expérience. D'un point de vue méthodologique, la méthode *think-aloud* n'a pas altéré de manière importante l'activité naturelle de génération d'esquisses, même si les testeurs pratiquaient ce type d'approche pour la première fois. En termes de production d'esquisses, il n'y a pas de différence significative entre les deux conditions de verbalisation en temps réel ou en différé. Cependant indépendamment de ces facteurs, certains designers ont eu de la difficulté à exprimer leur pensée (2 mots à la minute en moyenne pour un écart type de 1 à 3,3). Notons aussi qu'il a été demandé aux designers de réaliser des esquisses sans sources externes, pour mieux comprendre les processus implicites de catégorisation mentale lors des phases génératives et pouvoir extraire les informations mentales uniquement à partir de leur mémoire. Les novices ont parfois exprimé le besoin de référer à des sources extérieures mais ils se sont finalement bien adaptés à l'expérimentation, et les résultats appliqués ont été variés et riches en termes de fonctions, descripteurs sémantiques et analogies. Certains designers ont parfois eu tendance à s'arrêter de parler et de dessiner. Pendant ces arrêts, ils regardaient autour d'eux et cherchaient l'inspiration dans leur environnement proche qu'ils trouvaient parfois dans certains objets présents (situated).

Conclusion

Afin de modéliser les processus cognitifs des designers dans les phases de génération d'esquisses, une expérimentation a été menée basée sur une approche *think-aloud*. Les résultats ont permis de valider et d'affiner le modèle théorique initial en particulier à propos des flux d'informations entre la mémoire de travail et la mémoire long-terme. Ces résultats nous ont aidé à définir des spécifications pour la conception d'un outil logiciel visant à supporter les activités des designers dans les phases génératives en se

basant sur les processus de catégorisation mentale implicites. D'un point de vue théorique, nous allons aussi investiguer une question pionnière concernant la relation entre cognition et émotions lors des phases génératives. La première expérimentation nous a permis de valider le fort impact émotionnel lors de l'activité cognitive des concepteurs dans les phases génératives. Nous avons pu vérifier cela en étudiant les modalités verbales, l'intonation et la gestuelle. Une analyse plus poussée sera menée dans les prochaines expérimentations visant à compléter le modèle cognitif selon la dimension affective et mesurer l'impact émotionnel selon les dimensions projetée ou perçue. Dans les phases amont de la conception, il est un moment clé où le processus qui relie les phases informatives et génératives met en oeuvre l'explicitation d'une information jusqu'à alors mentale.

- **Projet GENIUS (Génération de Nouvelles Solutions basées sur l'Image et centrées Utilisateur)**

Le projet GENIUS a pour objectif l'élaboration d'un logiciel capable d'assister l'activité des designers en conception amont dans les phases de catégorisation d'images et de génération de formes. Il s'agit de formaliser les processus cognitifs des designers pour les traduire en règles design puis en algorithmes IA, et les intégrer à une interface de RV. Ma contribution réside dans la définition méthodologique et dans la modélisation des processus cognitifs des designers avec la thèse de J. Kim que j'encadre, menée en collaboration avec une autre thèse réalisée par CHART (thèse de L. Moscardini encadrée par C. TIJUS). De la modélisation des processus je travaille à la définition de formalismes capables d'exprimer la connaissance et les règles expertes mises en oeuvre par les designers. Ce travail est mené en collaboration avec le LIP6 (MJ. Lesot). L'activité de catégorisation, au cœur de l'expertise des designers, est spécifique dans la mesure où elle inclue à la fois une capacité de divergence pour la génération de nouvelles catégories et de convergence pour le classement de données dans des catégories sémantiques préexistantes. Cette catégorisation se fait la plupart du temps mentalement. Les données intégrées et exprimées par les designers sont majoritairement des images mais aussi des mots clés qui ne sont pas toujours explicitement exprimés mais qui sont utilisés par les designers pour structurer des corpus d'images. Aujourd'hui la nécessité d'intégrer toujours plus de données pour innover, l'intégration progressive d'images numériques et l'utilisation de plus en plus courante d'outils de traitement de l'image par les designers appelle des fonctionnalités nouvelles. L'une d'entre elles serait la catégorisation d'images à l'aide d'adjectifs sémantiques ou à l'aide de descripteurs bas-niveau tels que des harmonies de couleurs, de formes et de textures spécifiques. L'apport d'une aide dans les phases de catégorisation peut en effet permettre d'intégrer plus de données imagées et donc d'accroître le potentiel créatif dans la phase générative.

Les règles élaborées dans le cadre du projet GENIUS se focaliseront sur des tâches actuellement limitées dans l'activité des designers lors de la catégorisation de données et de l'utilisation d'une partie de ces données comme caractéristiques pour la génération de nouvelles solutions. Nous nous intéressons particulièrement aux phases de *construction d'une représentation mentale*, de *visualisation* et d'*auto-évaluation*. La synthèse de l'état de l'art et les diverses discussions que nous avons pu avoir lors de revues de projet antérieures montrent que c'est lors de ces phases en particulier que l'outil GENIUS peut s'avérer à la fois le plus pertinent, le plus utile et le plus novateur. Dans la phase de visualisation, l'outil peut permettre au designer d'afficher un grand nombre de formes pour stimuler en temps réel la construction d'une représentation mentale. D'autre part, une évaluation sur le plan émotionnel pourrait aider les designers à évaluer leurs propres propositions avant de les soumettre à l'équipe design ou aux clients. Compte tenu des évolutions actuelles de la conception vers une chaîne numérique unique, nous présenterons aussi des outils qui permettent d'établir un lien avec les phases de prototypage rapide.

4.4 Formalisation et computation de la phase d'évaluation

4.4.1 Formalisation de la phase d'évaluation

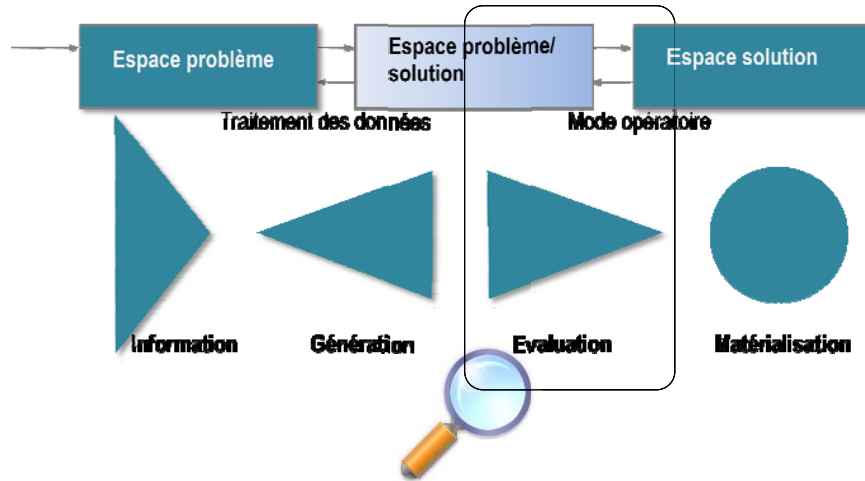


Figure 56: Formalisation de la phase d'évaluation

- **Introduction**

L'un des risques majeurs à prendre en compte lors d'une nouvelle conception est le rejet du futur produit ou service du à une inadaptation au besoin. L'adaptation au besoin dépend des dimensions *design* ou *ergonomie* du produit et évolue en fonction des mutations du marché qui font elles même évoluer ce besoin. L'évaluation, pratiquée de plus en plus tôt dans le processus de conception, permet de réduire considérablement ce risque. Elle se base sur une modélisation de l'utilisateur dont l'intervention sera plus ou moins directe en conception. Dans les débuts de notre recherche, la distinction entre l'évaluation des dimensions perçues et des dimensions d'usage était bien présente, l'une proposant une vision holistique et statique de l'objet à concevoir, l'autre reposant sur des scénarios séquentiels visant à simuler l'activité de l'utilisateur. L'évaluation de la perception a été fortement basée sur l'évaluation sémantique [Osgood, 1957, 1979], alors que l'évaluation de l'usage a évolué d'une ergonomie de produits vers une ergonomie cognitive qui évalue l'interaction et sa réplique concrète, l'interface. L'intérêt pour l'évaluation en conception a touché peu à peu des disciplines telles que le marketing, l'ergonomie ou le design. D'une évaluation distincte de la qualité perçue et de l'usage, nous sommes passés progressivement à l'intégration des dimensions axiologiques, sémantiques, sensorielles, émotionnelles, puis expérientielles. Le design d'expérience considère conjointement l'ensemble de ces notions. Certains théoriciens comme Norman [Norman, 1988, 2004] ont joué un rôle clé dans cette évolution, remettant en question l'ergonomie classique qui occultait les notions d'émotions et de plaisir. Selon Norman, augmenter l'utilisabilité des produits par l'esthétique permet une expérience d'interaction agréable, alors que le seul travail sur l'utilisabilité n'assure en effet pas une qualité d'utilisation optimale. Selon lui, l'esthétique du produit et les impressions subjectives qu'il suscite doivent être considérées comme partie prenante de la qualité d'utilisation et peuvent même compenser certains défauts d'utilisabilité.

Ce courant de pensée s'est développé en sciences de la conception pour donner lieu au design émotionnel envisagé selon les trois dimensions viscérale (plaisir esthétique), comportementale (utilité et facilité d'utilisation) et réflexive (image utilisateur) [Norman, 1988, 2004]. Les produits, à part leurs caractéristiques techniques et

fonctionnelles, ont aussi une forte charge affective et émotionnelle qu'ils transmettent par l'intermédiaire de modalités cognitives et sensorielles.

Nous avons proposé un premier modèle de la phase d'évaluation dans le cadre du projet de recherche *Télévision interactive*. Cette recherche a porté sur la formalisation de la phase d'évaluation avec la définition d'une méthodologie de conception des services du futur pour la TVi. Le projet TVi a constitué le cadre expérimental de la thèse de D. LIM qui a modélisé un processus d'intervention créative de l'ergonome et où l'évaluation s'est basée sur l'intégration d'outils issus de l'ergonomie cognitive dans la phase de définition de concepts.

Une seconde approche de la phase d'évaluation a été formalisée dans le cadre du projet *KENSYS*. Ce projet, détaillé dans la partie suivante *computation* a constitué le terrain expérimental de la thèse de F. MANTELET positionnée dans le domaine du design émotionnel. Une méthode d'évaluation sémantique et émotionnelle a été développée dans le cadre de cette thèse qui s'applique de la phase de définition du besoin à celle de définition de concepts.

- ***Le projet Télévision Interactive (TVi, Projet labellisé RNRT)***

Le projet TVi a eu pour objet *l'Anticipation des futurs services et l'évaluation ergonomique d'une interface de navigation multimodale de Télévision interactive intégrant la technologie Screen Access Box (SAB)*. Il a duré de 2003 à 2005, et a compté comme partenaires scientifiques le Laboratoire LIMSI-CNRS, la société Médialive et le LCPI. Ce projet s'est situé dans la catégorie des projets exploratoires du Réseau National de Recherche en Télécommunications (RNRT).

La finalité principale a été d'anticiper les services et les usages de la future télévision interactive et de les valider à partir de tests utilisateurs sur des maquettes précoces en vue d'aboutir à un démonstrateur piloté via une interface de navigation multi-modale. L'anticipation des futurs services de la télévision interactive a été réalisée à partir de l'analyse des tendances d'usage développée par le LCPI. Une cartographie des services proposés est présentée figure 58. L'analyse axiologique a démontré la nécessité d'apporter à la TVi de nouvelles perspectives centrées autour des valeurs de liberté, de mobilité, de communication avec les autres, et de développement personnel abordé sous l'angle de l'apport en contenus culturels ou pédagogiques, ou relatifs à la santé et au bien-être. Ces services ont ensuite été concrétisés à travers une interface interactive présentée figures 59 et 60.

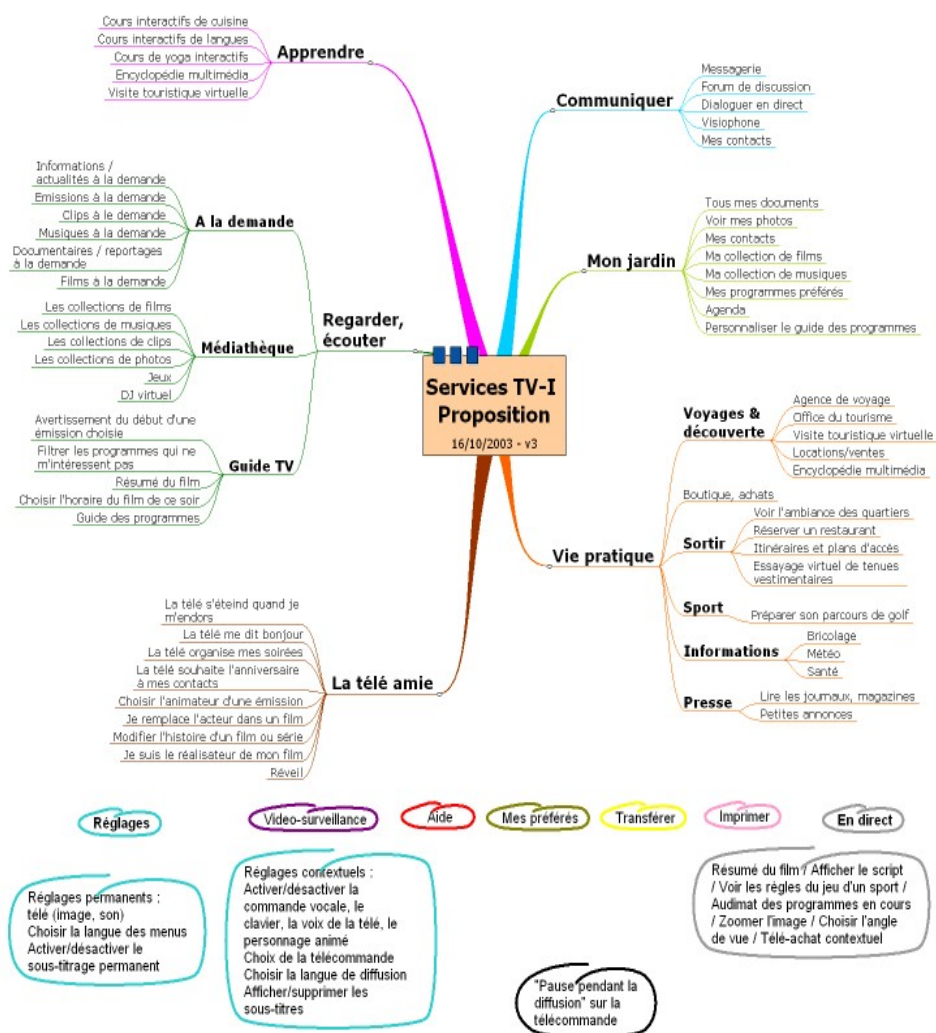


Figure 57: Cartographie et hiérarchisation des libellés et icônes représentant les services de la future TVi

Les qualités ergonomiques de l'usage de ces services ont été évaluées expérimentalement par le LCPI et le LIMSI/CNRS. Le comportement vocal et gestuel des utilisateurs face à l'interface multi-modale proposée ont été enregistrés, annotés et analysés.



Figure 58: Interface de la future TVi

L'aspect navigation a été testé avec des prototypes partiellement opérationnels que le LCPI a mis en oeuvre avec des dispositifs d'interfaces de simulation et de prototypage d'IHM programmées en langage JAVA. Les tests se sont déroulés dans le contexte quasi-réel, dans la salle de tests en utilisabilité du LCPI équipée d'une ambiance domestique. Un démonstrateur proposant des services et une interface adaptés aux utilisateurs a été développé à partir des résultats d'analyse.

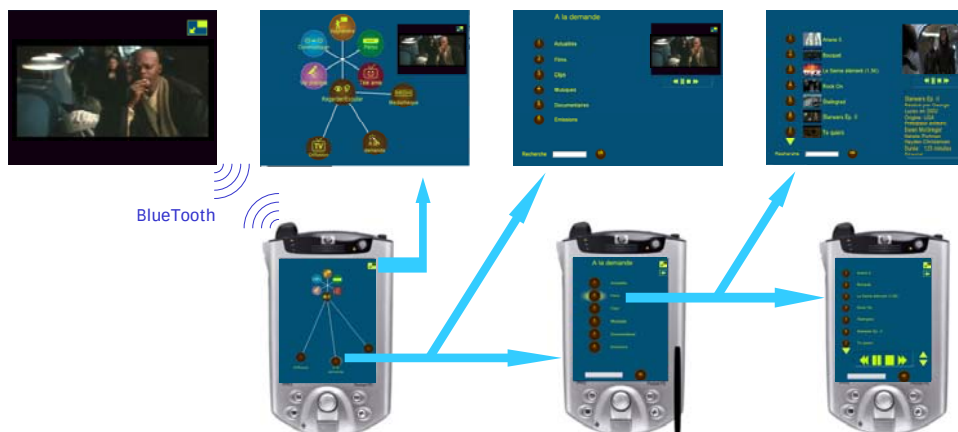


Figure 59: Séquence d'écran illustrant la navigation pour le service « Films à la demande »

- **Thèse de Dokshin LIM en co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Modélisation du processus de conception centrée utilisateur, basée sur l'intégration des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive : Application à la conception d'IHM pour la TV-i [T2]**

Le projet Télévision interactive a constitué le terrain expérimental de la thèse de Dokshin LIM intitulée *Modélisation du processus de conception centrée utilisateur, basée sur l'intégration des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive : Application à la conception d'IHM pour la TV-i*, soutenue en octobre 2003.

Objectifs de la thèse

Cette recherche a eu pour finalité la définition d'une méthode de conception collaborative basée sur la mise en place d'outils et de RI spécifiques pour l'intégration de l'ergonomie cognitive. Cette méthode devait être utilisable par l'ergonome cognitif intégré en tant que porteur de projet dans une équipe pluridisciplinaire, de façon à optimiser sa collaboration avec les autres concepteurs. Elle intègre des outils issus à la fois de l'ergonomie cognitive et de la méthode ATC qui sont utilisables en amont de la conception. L'application a porté sur les phases d'*identification du besoin* et de *génération et validation de concepts* dans le cadre de la conception d'une interface pour la télévision interactive.

Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) et ANEGP

La convergence de multiples fonctions sur un objet constitue une tendance forte dans le domaine des NTIC [Silverstone, 1995]. Cette convergence est parfois remise en cause car l'intégration de multiples fonctions doit correspondre à un besoin réel de l'utilisateur [Norman, 1998, Chincholle, 2001, Stiegler, 1997]. Dans le cas de la TVi, l'introduction massive de nouvelles fonctionnalités ou de nouveaux services conduit à une complexification de l'usage et à une surcharge cognitive. L'utilisateur dissuadé se limite alors à utiliser les fonctionnalités de base. Certains chercheurs considèrent qu'il y aura convergence entre la TV et l'ordinateur, [Gates, 1996, Quico, 2000] alors que d'autres pensent que les deux médias vont coexister malgré les évolutions qu'ils subiront [Lee, 1995, Havick, 2000, Clancey, 1994, Chamming's, 2001, McLuhan, 1964].

Conception centrée utilisateur et apports de l'ergonomie cognitive en phase amont

Dans les démarches de conception centrée utilisateur [Norman, 1998, Nielsen, 1993, Shneiderman, 1992, Moran, 1996], l'intérêt porte surtout sur le niveau cognitif [Patesson, 1986, Norman, 1988] qui comprend la perception, la prise de décision, la résolution de problèmes et la mémoire [Shackel, 1985]. Certains concepts de la psychologie cognitive permettent de filtrer les informations selon les besoins de l'utilisateur (*machine minimale*) [Cuny & Deransart, 1971], ses habitudes (*interface écologique*) [Rasmussen, 1989], la reconnaissance de ses intentions (*aide active*) ou une forme de présentation compatible avec ses représentations mentales. Dans le domaine des NTIC, le degré de liberté des concepteurs s'accroît. Nous nous intéressons à une intervention créative de la part de l'ergonome en contexte de conception coopérative. La multimodalité comme mode d'interaction des ANEGP⁴ présente l'intérêt d'introduire simultanément plusieurs modalités (parole et geste), en se rapprochant ainsi d'une communication homme-homme plus spontanée et intuitive *via* l'interface utilisateur [De Montmollin, 1997]. Si l'ergonomie des activités coopératives de conception n'a pas constitué le cœur de notre recherche [Darses, 1994, 1996, 2001, Falzon, 1993, 1996], elle est restée prépondérante pour définir une méthodologie de conception en contexte multi-disciplinaire.

Positionnement de l'ergonome dans les démarches multidisciplinaires

Lors de la conception des ANEGP, l'ergonome a besoin de repositionner son rôle plus en amont parmi les autres acteurs métiers, en reconstituant ses connaissances de manière convaincante à leur égard [Ci41, Cn11]. Le contexte des ANEGP impose d'accorder beaucoup d'importance à l'ergonomie avec une collaboration précoce entre le design et l'ergonomie sur la base d'un CDC commun. En effet, même si certaines qualités extérieures l'emportent sur la décision d'achat, la déception lors de l'utilisation peut créer une contre-référence peu souhaitable. Le marketing peut ainsi bénéficier de l'approche en ergonomie [Kasbi, 1997] avec les approches participatives [Delozanne, 1999] qui permettent d'obtenir des informations sur l'activité et le besoin latent des utilisateurs [Sanders, 2001] et la possibilité d'éviter de graves erreurs. La sociologie échange peu avec l'ergonomie dans les pratiques actuelles qui restent davantage ouvertes sur la psychologie et la physiologie. Elle analyse les conséquences des ruptures technologiques dans les situations de vie où l'homme se trouve confronté aux technologies de son environnement quotidien [Stiegler, 1997, Boullier, 1983, 1988, 1999, Negroponte, 1997, Mallein, 1996, 1998].

Problématique et hypothèses

La zone d'intervention de l'ergonome cognitif, relativement étroite en phase de *définition de concepts*, devrait être située plus en amont pour rendre les produits vraiment utilisables. Or, les démarches actuelles de l'ergonomie s'appliquent essentiellement lors de tests utilisateurs avec un produit quasiment fini pour corriger d'éventuelles erreurs. La première question qui se pose pour l'ergonome en phase de *définition de concepts* est celle de la communication entre concepteurs *via* des modes de RI adaptés. La deuxième question concerne les méthodes et outils de validation ergonomique en amont, là où les concepts ne sont pas encore complètement définis. Pour répondre à cette problématique, l'ergonome doit expliciter sa nouvelle démarche en phase de *développement de concepts* en proposant des solutions créatives en termes de fonctions et modes d'interaction, et une évaluation des pré-concepts basée sur l'adaptation de méthodes et outils de l'ergonomie cognitive. De nouvelles RI pourraient faciliter le dialogue en permettant à l'ergonome d'exprimer un espace de solutions. La première hypothèse préconise l'application de la démarche ATC afin de formaliser des RI précoces multi-métiers capables de stimuler la créativité et d'aider l'ergonome à communiquer efficacement avec les autres concepteurs (marketeur,

⁴ Appareils Numériques Electroniques Grand Public.

designer, psychologue, sociologue d'usage). La seconde hypothèse est l'intégration plus en amont de l'ergonomie cognitive, aussi bien lors des phases créatives que lors de tests de pré-concepts basés sur des méthodes classiques d'observation et sur des techniques d'inspection de l'utilisabilité *économiques* tels que le *prototype papier* et le *Magicien d'Oz*.

Expérimentation

Le projet *télévision interactive* a été subdivisé en six phases :

1. *Préparation.*
2. *Définition du CDC fonctionnel (CDCF).*
3. *Développement du simulateur.*
4. *Évaluation ergonomique et design.*
5. *Validation.*
6. *Bilan.*

La problématique de la thèse a porté sur les phases de *définition du CDCF* et pour partie celles de *développement du simulateur* et *évaluation ergonomique et design*. La phase de *définition du CDCF* a eu pour finalité de définir une liste de fonctionnalités en tant que futurs services de la TVi. Les phases de *développement du simulateur* et *d'évaluation ergonomique et design* ont été réalisées à partir d'une sélection de quelques services qui ont été développés sous forme d'un simulateur évalué ensuite selon ses qualités ergonomiques. Les résultats d'analyse du test expérimental ont été des recommandations design donnant lieu à des modifications sur les prototypes et la fabrication du démonstrateur final.

Définition du CDCF

ATC : Veille technologique, sociologique, analyse des tendances d'usage

Sachant qu'aucune RI formelle précoce existe encore pour l'ergonome, l'ATC nous a semblé en partie transférable. En effet cette méthode vise à identifier les valeurs sociologiques et les secteurs influents pour formaliser des RI multi-métiers en amont de la conception, et de les utiliser ensuite pour stimuler la créativité. La bibliographie complétée par les résultats d'une enquête menée auprès d'une quarantaine de personnes ont fait ressortir les valeurs centrales relatives à la TVi du futur [Rokeach, 1973, Valette-Florence, 1994, Mermet, 2003, CREDOC, 2001, Louis Harris, 2002]: *l'hédonisme* (loisir, détente, jeu, divertissement, relaxation), la *liberté* (liberté de choix, de mouvement, interactivité réelle), les *relations avec les autres*, la *communication* (avec d'autres téléacteurs [Nolan, 2003], téléchat, vidéophonie, télé-forum, ...) et le *développement personnel*. L'ATC a par ailleurs permis d'identifier les tendances d'usage en termes de fonctions, fonctionnalités, dispositifs d'entrée ou sortie de l'information, interfaces graphiques et technologies dans le domaine de la TVi et dans les secteurs influents des NTIC. Une base de données d'images et de mots clés a été constituée pour faciliter le dialogue entre l'ergonome, le sociologue et le designer, dont le contenu a été agencé selon les axes relatifs aux valeurs les plus structurantes pour la composition progressive du *Mapping d'Influence d'Usage (MIU)*. Le *Mapping d'Influence d'Usage* a constitué une RI commune, évolutive et utilisable lors des séances de créativité pour stimuler la génération d'idées de nouvelles fonctionnalités. Les liens réalisés entre les mots et les images ont été basés sur la logique du chaînage valeurs-fonctions-solutions évoqué précédemment, qui a favorisé la découverte de nombreuses idées de solutions de nouveaux concepts. Les résultats de l'ATC ont ainsi permis générer et de structurer une cartographie de nouveaux services (figure 58).

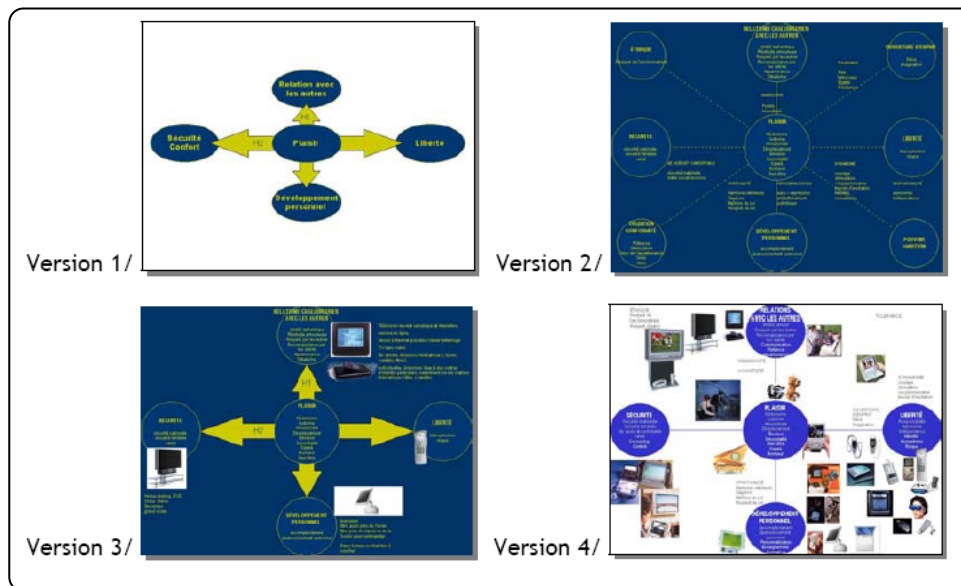


Figure 60: Evolution du Mapping d'Influence d'Usage au cours du projet

Analyse des fonctions d'usage

L'analyse des fonctions d'usage des systèmes actuels a fait intervenir des outils classiques tels que l'interview, le focus group, le questionnaire ou l'observation. Les résultats du questionnaire, rempli par 20 abonnés à CanalSatellite, ont montré que 2/3 des répondants étaient abonnés à plusieurs fournisseurs pour avoir une plus grande diversité des programmes, et que les services interactifs étaient rarement utilisés pour des raisons de coûts. L'observation, menée auprès de 8 utilisateurs non abonnés à la TVi en contexte de co-découverte [Daly-Jones, 2003], a permis de détecter des problèmes d'utilisabilité au niveau de l'interface et d'évaluer l'utilité perçue des services⁵ qui se sont avérés intéressants, d'autant plus s'ils évitaient un déplacement hors du domicile. Mais les utilisateurs ont exprimé leur déception quant aux temps de réponse trop élevés et au manque d'intelligibilité du système. La liberté de visionnage est apparue comme fondamentale. De futurs services liés au divertissement ou à des chaînes autonomes ont aussi semblé utiles, ainsi que de nouveaux modes de télécommande (pointeur, tablette tactile, ...). En complément, nous avons appliqué la méthode du *magicien d'Oz* pour tester de nouvelles modalités de commande: parole, geste (stylo + écran) ou multimodalité (parole et/ou stylo). Le scénario réalisé par 6 doctorants s'est axé sur une consultation des programmes via la recherche multicritères de l'interface web de Canalsatellite. Un questionnaire complémentaire a permis de poser des questions d'ordre général selon [Chin & al., 1988, Davis, 1989, Lewis, 1995, Lin & al., 1997, Nielsen, 1993, Perlman, 1997]. Les résultats ont été très favorables pour les trois conditions d'interaction, même si les sujets ont placé le stylo en premier choix, la multimodalité en second et la parole en dernier. Selon la technique du *magicien d'Oz*, au lieu de réaliser les fonctionnalités sur un prototype, un *magicien* humain hautement expert manipule l'arrière scène pour que le sujet se sente en présence des fonctionnalités réellement opérationnelles. Cette technique s'avère particulièrement intéressante pour valider les nouveaux modes d'interaction et valider des pré-concepts en économisant du temps et des ressources. Cependant, l'utilisation des prototypes papiers peut être plus utile dans certains cas, par exemple dans le cadre de tests de nouvelles fonctions et fonctionnalités via une interface graphique, parce que la technique du *magicien d'Oz* nécessite quand même un développement, même si celui-ci est simplifié. Nous avons aussi pu valider le concept de commande multimodale à partir d'un PDA [Robertson, 1996, Kohar & Ginn, 1997].

⁵ Petites annonces, météo interactive, SMS, visionnage de film multilingue, consultation des programmes.
Carole Bouchard, Mémoire d'HDR, Soutenue le 9.7.2010

Créativité : génération d'idées de fonctions

A partir des idées recueillies en phase de recherche d'informations, l'organisation de séances de créativité a permis la production massive d'idées créatives générées par des concepteurs ou des utilisateurs potentiels. Une première recherche collective d'idées basée sur la *purge* et le *brainstorming* a permis de générer une liste fonctionnalités pour les futurs services de la TVi. En offrant un point de vue synthétique de tous les résultats de recherche formalisés jusqu'alors, le MUI visualisé pendant le *brainstorming* a constitué un point d'entrée important pour cette phase. En complément du MUI, les motivations sociologiques ont été évoquées sous forme de questions (par exemple, *Comment la TVi du futur peut-elle nous remonter aider à vivre des découvertes émotionnelles (réponses: surprise, suspense, rire,...)*). Au total 338 idées de niveaux hétérogènes (fonctions, fonctionnalités ou dispositifs) ont été obtenues et catégorisées des plus originales ou futuristes (la TV organise mes soirées, se projeter à la TV, avatars) au plus classiques (liberté de choix et de visionnage, ce que je veux, quand je veux et comme je veux). Parmi les 466 idées issues à la fois de la créativité et du chaînage *valeurs-fonctions-solutions* (128), l'équipe de conception en a sélectionné 80 selon des critères d'originalité, ludicité, utilité, convivialité et éthique.

Développement du simulateur et évaluation ergonomique et design

Les premiers concepts du futur système de TVi ont été définis en phase de *développement du simulateur* et *d'évaluation ergonomique et design*, avec une intervention conjointe de la créativité et de l'ergonomie. Nous avons formalisé et validé par des tests utilisateurs une cartographie à deux niveaux regroupant les 80 fonctionnalités hiérarchisées selon une structure facile à mémoriser. Le premier niveau donne l'accès aux services de *télécommunication, visionnage, loisirs, achats, apprentissage* et *personnalisation*. Une séance de créativité, dont la moitié des participants étaient des utilisateurs potentiels, a porté sur l'élaboration des services décrits verbalement avec des séquences de dessins suffisamment détaillées pour être directement applicables au design. Le compromis entre l'aspect esthétique et l'utilisabilité a nécessité des choix graphiques particuliers basés une évaluation sémantique et sur des recommandations ergonomiques pour les trois concepts proposés : *molécule, disque* et *carré* [Beu, 1998, Curran, 2002, Gawlinski, 2003]. Les concepteurs ont ensuite développé l'interface opérationnelle du concept choisi en s'appuyant sur une collaboration multi-métiers permanente. La différence est qu'à ce stade, toute modification radicale sur le prototype n'est pas aisée. Le processus est itératif entre la création et l'évaluation jusqu'à ce que tous les composants nécessaires se voient réalisés en satisfaisant la qualité ergonomique souhaitée. Cette phase constitue un champ d'investigation plus classique de l'ergonomie.

Modèle, apports

La nécessité de formaliser une nouvelle démarche de l'ergonome cognitif est due au fait que, dans la phase de définition du CDCF, la créativité joue un rôle crucial. Dans le domaine des NTIC, le degré de liberté de conception est élevé à cause de la convergence et de la diversité des dispositifs dédiés d'interaction. Le nouveau rôle de l'ergonome cognitif dans une équipe multidisciplinaire consiste alors à proposer des solutions créatives et à les évaluer en amont selon des critères ergonomiques. Pour l'ergonome, le fait de s'impliquer en créativité et de valider dès que possible la qualité ergonomique de chaque élément conceptuel est nouveau. L'apport principal de notre recherche est d'avoir modélisé et optimisé l'intervention de l'ergonome dans la phase de *développement de concepts* (voir figure 62).

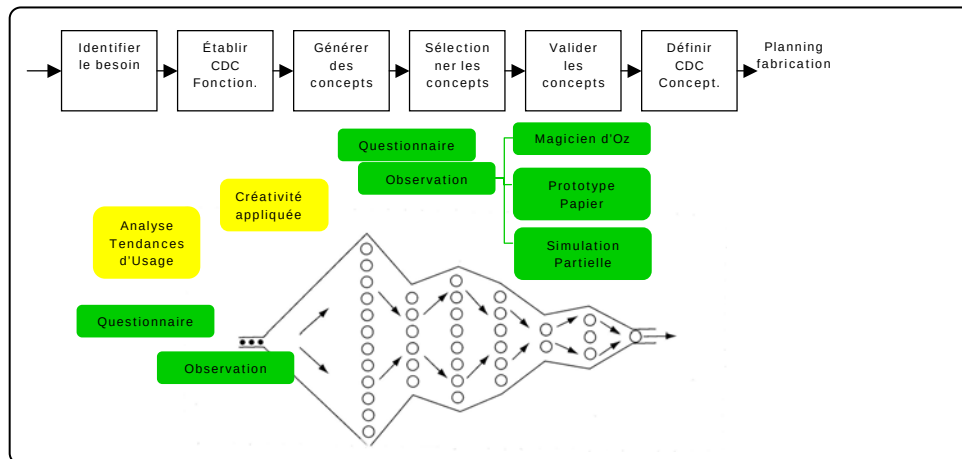


Figure 61: Modèle du processus de conception centrée utilisateur dédié aux ANEGP

Nous avons défini une démarche globale qui permet de proposer des solutions créatives et d'intégrer le point de vue des utilisateurs dès les premières séances de créativité. Son positionnement en amont du processus de conception implique un important travail de recherche de solutions, avec une évaluation précoce des solutions pouvant aller des concepts globaux jusqu'aux IHM. Dans le monde industriel, plusieurs métiers collaborent au sein d'une même équipe en phase de définition du CDCF. Il est donc nécessaire d'explicitier les résultats intermédiaires dans toutes les étapes, afin que l'équipe de conception puisse se constituer une représentation commune qui intègre le plus tôt possible les connaissances issues de l'ergonomie cognitive. La contribution à l'étude sociologique par le designer et l'ergonome facilite la mise en relation des données en termes de valeurs sociologiques et d'attributs produit. Le domaine des NTIC évoluant très rapidement, une veille multi-sectorielle à laquelle l'ergonome lui-même contribue est cruciale. Celui-ci doit alors communiquer ses connaissances et spécifications aux autres acteurs de l'équipe de manière efficace.

L'ATC (représentée en jaune sur le modèle) combinée avec une approche participative peut alors constituer une aide afin que l'ergonome organise son intervention entre la recherche de solutions dans l'espace créatif et l'évaluation précoce des solutions selon des critères ergonomiques. Les phases d'identification du besoin jusqu'à la génération de nouveaux concepts nécessitent l'intégration d'aspects sociologiques, technologiques, et d'usage qui viendront enrichir la recherche d'idées et de concepts. L'ATC vise à synthétiser ces aspects au travers des RIs spécifiques pour avoir une vision relativement exhaustive sur le besoin, validée par le biais d'enquêtes ou de manière plus spontanée dès les premières séances de créativité, afin d'exprimer des problèmes ou solutions dans un contexte ludique grâce à des techniques adaptées. Ainsi, dans notre modèle, le point de vue des utilisateurs est intégré indirectement en amont avec l'analyse des valeurs sociologiques, des modes de vie et des usages du grand public, puis directement grâce à une approche ethnographique et à leur intervention lors des séances de créativité relatives aux nouveaux services. Nous avons préconisé de formaliser un *mapping d'influence d'usage* (MUI) afin de faciliter la communication entre l'ergonome cognitif et les autres métiers. Cette représentation évolutive co-construite formalise le lien entre les valeurs sociologiques, les secteurs influents et l'univers de solutions en IHM. Ce type de RI a aidé tous les participants à partager le même univers et à générer de nombreuses idées de nouveaux services en créativité. Pour l'ergonome, il a permis de clarifier les résultats intermédiaires afin de mieux prendre en compte tous les axes possible et d'introduire très tôt des outils de créativité appliquée à l'usage.

Parmi les principales méthodes et outils de l'ergonome, l'interview, le questionnaire et l'observation se sont avérés utiles dans la phase d'identification du besoin. Les données concernant les modes de vie et les valeurs sociologiques peuvent être fournies par des experts, complétées par une bibliographie ciblée et validées en

contexte par les utilisateurs grâce à l'interview et au questionnaire. A ce stade, ces outils sont plus pratiqués dans le but d'interpréter le besoin latent de l'utilisateur, alors que l'ergonome préfère la mesure de performance en contexte d'utilisation réelle. Même si le marketeur, le sociologue ou le psychologue réussissent à interpréter le besoin, il leur reste à le traduire en attributs produit. L'utilisation des méthodes classiques de l'ergonomie permet de commencer à réfléchir rapidement sur un compromis avec les contraintes ergonomiques. Ces outils ne doivent pas se limiter à détecter les problèmes du système existant mais s'orienter aussi vers la recherche de solutions créatives et innovantes en permettant de satisfaire les besoins latents. Intégrer ces outils dans la démarche de l'ATC nous a semblé efficace car dans le domaine des NTIC, où le temps donné à la phase de *développement de nouveaux concepts* est court, il est important de faire rapidement le lien entre l'identification du besoin et la recherche de solutions.

Dans le cadre du projet TVi, nous avons élaboré un CDCF en contexte multidisciplinaire, puis des concepts d'interface graphique des nouveaux services de la future TVi. Les RI précoces générées selon la démarche ATC ont été utiles à l'ergonome en tant que porteur du projet pour formaliser les résultats de veille et aboutir à une communication explicite des connaissances métiers. Nous avons aussi validé l'apport de techniques de tests économiques telles que le *magicien d'Oz* et le *prototype papier* en phase de définition de concepts dans le secteur des ANEGP, en gardant à l'esprit que dans le futur, la simulation avec les outils de RV, plus rapides et économiques, risque de se substituer peu à peu à ces techniques. Le rôle du test des pré-concepts dans la phase de développement de nouveaux concepts n'est pas le même que dans la phase de conception détaillée. Le premier a pour objectif de définir un CdCF exhaustif et le second de définir un CdC conceptuel et technique détaillé. La phase de *développement de nouveaux concepts* nécessite d'évaluer l'adaptabilité de nouvelles fonctions et de nouveaux dispositifs d'entrée et de sortie de l'information et ce, sans avoir une définition détaillée des interfaces qui serait coûteuse à ce stade.

Conclusion

Nous avons proposé un modèle du processus de conception des ANEGP lors duquel l'ergonome peut devenir le porteur du projet. Dans la démarche que nous préconisons, l'ergonomie cognitive intervient dès le début du projet de conception, en phase de *développement de concepts*. Elle couvre l'identification du besoin, la génération, la validation et la sélection de nouveaux concepts, alors que le champ d'investigation classique de l'ergonomie vient plus en phase de conception détaillée. Dans le modèle méthodologique proposé, la démarche de l'ATC est combinée avec des méthodes et outils de l'ergonomie cognitive. En appliquant notre modèle, il est désormais possible que les nouveaux concepts soient validés en termes d'adaptabilité au grand public et de qualité ergonomique dès les phases amont. Le modèle méthodologique proposé s'appuie sur une démarche innovante et centrée utilisateur. Les utilisateurs participent aux phases créatives en contribuant à l'énoncé de scénarios visant à orienter les phases de génération d'idées. Des RI originales ont été proposées. C'est le cas du MUI qui comporte des images de produits recueillies selon la méthode ATC et qui facilite la communication entre l'ergonome cognitif et les autres métiers. Les outils d'ergonomie cognitive utilisés ont permis de tester les concepts sans réellement fabriquer les prototypes opérationnels. Ils font partie des méthodes d'inspection de l'utilisabilité dites *économiques* (Magicien d'Oz, Prototype papier, Simulation d'interfaces logiciels).

- ***Thèse de Fabrice MANTELET en co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans la conception de produits [T5]***

Le projet KENSYS a constitué le terrain expérimental de la thèse de Fabrice MANTELET intitulée *Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans la conception de produits*, soutenue en Décembre 2006. Ce projet sera détaillé dans la partie suivante 4.4.2 *Computation du processus d'évaluation*.

Objectifs de la thèse

Bien que les outils d'évaluation de la dimension perçue des produits par les consommateurs tendent à s'enrichir, et bien que nous ayons identifié la dimension émotionnelle comme cruciale en conception amont, peu d'outils ont été proposés pour mesurer la réaction émotionnelle des consommateurs en fonction de l'expressivité du produit. Cette thèse a eu pour finalité de proposer une méthode et des outils permettant de prendre en compte la dimension émotionnelle lors de l'évaluation du produit ou ses RI. Elle a été réalisée avec l'objectif de compléter le modèle initial par les aspects émotionnels. Les expérimentations ont permis d'extraire des spécifications applicables dans le cadre du projet KENSYS.

Prise en compte du consommateur dans le processus de conception

Nombreux sont les outils méthodologiques qui permettent d'appréhender le point de vue du consommateur en conception. Les approches fonctionnelles telles que l'AF ou le QFD intègrent tout au plus des résultats d'enquêtes utilisateurs [Saadi, 2005]. D'autres méthodes telles que l'analyse sémantique, l'analyse sensorielle ou l'ingénierie Kansei, prennent en compte des dimensions à la fois objectives et subjectives directement auprès des consommateurs (sensation, émotions, ressenti, affectivité). L'analyse sémantique et l'analyse sensorielle, outils partiels de l'Ingénierie Kansei, sont utilisées dans les phases aval du processus de conception sans prendre en compte le ressenti émotionnel, ce qui rend l'interprétation difficile. L'Ingénierie Kansei permet de corréliser des dimensions subjectives avec des dimensions objectives en prenant en compte la dimension sémantique et souvent la dimension émotionnelle. La plupart des outils qui permettent de faire évaluer des produits par les consommateurs n'intègrent cependant pas la dimension émotionnelle. Ces outils sont en outre appliqués de manière ponctuelle, plutôt en aval du processus. Le design émotionnel se différencie du design par l'introduction d'une mesure de la réaction émotionnelle du consommateur face à des stimuli sensoriels et sémantiques. Celle-ci rend explicite des indicateurs qui aideront à s'orienter vers une conception réussie. Etant donné que cette mesure s'applique aux utilisateurs et aux consommateurs, les métiers de l'ergonomie et du marketing [Schmitt, 2004] s'y intéressent de plus en plus. Ces disciplines convergent vers le développement d'outils tant analytiques et quantitatifs (étude des mouvements des yeux), qu'intuitifs et qualitatifs comme les méthodes orales (groupes de discussion, entretiens, questionnaires) [Andreani, 2002], afin d'adapter le produit en le rendant attrayant. Selon [Norman, 2004], le seul travail sur l'utilisabilité n'assure pas une qualité d'utilisation optimale. Les designers reconnaissent eux-mêmes intégrer intuitivement une dimension émotionnelle forte dans leurs propositions [T1]. Celle-ci est véhiculée par l'intermédiaire de modalités sensorielles et cognitives.

Problématique et hypothèses

Il existe peu d'outil qui prennent en compte ressenti émotionnel qu'éprouve un consommateur face à un produit. D'autre part, les outils qui évaluent la perception du consommateur sont appliqués de manière ponctuelle. Les chercheurs en sciences de la conception s'appuient sur l'expressivité d'un produit mais la difficulté consiste à comprendre le ressenti émotionnel du consommateur par rapport à cette expressivité.

Il est nécessaire de pouvoir quantifier ce ressenti, et ce à différents stades du processus de conception. L'outil résultant doit être compréhensible et utilisable par les différents acteurs métiers présents en conception amont.

Définition et mesure des émotions

Selon les théoriciens contemporains, une émotion est une réaction organisée combinant des réactions physiques (moiteur des mains, accélération du rythme cardiaque, etc...) avec une réaction mentale. Différentes théories des émotions ont été développées [Tomkins, 1980, Izard, 1977, Plutchick, 1980, Panksepp, 1989, Ekman, 1987, 1989, 1992, et Damasio, 1994]. Trois types de mesures existent pour évaluer les émotions : physiologiques, comportementales et cognitives. Certaines réactions du corps humain provoquées instinctivement sont dites primaires [Plutchick, 1980] dans la mesure où elles sont générées selon une composante non-cognitive (peur, seul le système limbique entre en fonction). Dans le cadre de l'évaluation visuelle de produits, nous nous intéressons plus aux émotions secondaires moins intenses, plus complexes et plus adaptées à notre contexte. Les mesures physiologiques⁶ sont couramment utilisées pour mesurer l'intensité d'une émotion primaire et sont moins significatives pour mesurer les émotions secondaires. Il est souvent difficile de déterminer la cause de la réponse physiologique car ces mesures sont sensibles à de nombreux stimuli. Concernant les mesures comportementales, il est aussi difficile de mesurer une émotion secondaire à partir des expressions faciales, de la voix ou de la prosodie. La mesure de l'expression faciale est réalisée soit par technique électromyographique pour analyser l'activité non visible, ou selon une codification standardisée (Facial Action Coding System) [Ekman & Friesen, 1978, Desmet 2002]. La reconnaissance des émotions basée sur la voix ou sur la prosodie obtiennent quant à elles un pourcentage moyen de reconnaissance correcte [Banziger & al, 2001, Sherer, Banse & Wallbott, 2001]. Ce sont finalement les outils de mesures cognitives des émotions qui nous ont semblé les plus pertinents dans un premier temps, avec les échelles *Self Assesment Manikin* (SAM, voir figure 63) [Lang, 1997] et *Visual Analog Scale* (VAS) [Monk, 1989]. Ces mesures basées sur des échelles iconiques sont régulièrement utilisées et les résultats sont fiables. Elles peuvent être utilisées en complément des mesures physiologiques. Cependant elles ne permettent pas de définir ce que ressentent les personnes évaluées. Il faut donc préciser le ressenti en complétant la mesure par une liste d'émotions secondaires. La liste proposée par le département de psychologie de l'Université de Genève⁷ peut permettre de sélectionner des descripteurs émotionnels pertinents selon le contexte, en complément. Tout comme les descripteurs sémantiques, ils peuvent être intégrés avec des échelles de Likert.

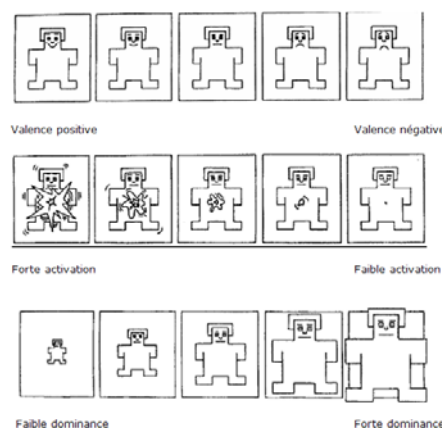


Figure 62: Echelles de Lang [Lang, 1997] in [T5]

⁶ Pression sanguine volumique, fréquence cardiaque, activité électrodermale, fréquence respiratoire, activité électromyographique, analyse électro-encéphalographique.

⁷ <http://www.unige.ch/fapse/emotion/rematerial/FiveLangAffectTerms.pdf>

Carole Bouchard, Mémoire d'HDR, Soutenue le 9.7.2010

Outil de Quantification Sémantique et du Ressenti Emotionnel (OQRES)

L'analyse sémantique permet l'évaluation de RI à partir de descripteurs⁸ adaptés à la population ciblée [Shang, 2000] et qui permettent d'extraire un jugement [Osgood, 1957]. La mesure vis-à-vis de ces adjectifs s'effectue sur la base d'échelles de Lickert. Le recueil et le traitement des données met en oeuvre deux ACP consécutives pour les évaluations sémantique et émotionnelle. Le profil d'un modèle de produit, constitué de l'ensemble des évaluations qu'il a obtenu, correspond à un point dans l'espace géométrique. Le premier résultat significatif de chaque ACP est le cercle des corrélations qui met en évidence les axes les plus discriminants et montre les corrélations entre variables. On en déduit que certains qualificatifs sont proches sémantiquement et constituent des familles. Le graphique issu de l'ACP affiche un positionnement des produits par rapport aux axes sémantiques et permet de visualiser la position du produit idéal par rapport aux modèles évalués. L'approche émotionnelle vise à affiner les résultats de l'analyse sémantique en mettant en évidence la réaction émotionnelle vis-à-vis de telle ou telle sémantique. Sur la base de l'état de l'art, nous avons défini un outil de quantification sémantique et du ressenti émotionnel composé de 4 parties, l'une relative au profil du répondant et les trois autres portant respectivement sur les valeurs, l'évaluation sémantique et l'évaluation émotionnelle sur la base des échelles de Lang [Lang, 1997] in [T5] et de descripteurs émotionnels lexicaux. L'ensemble de ces évaluations s'appuie sur des échelles de Lickert.

Expérimentation

Le processus de conception met en oeuvre différentes RI du produit (planches de tendances, esquisse, modèles CAO, ...). Il serait utile de pouvoir évaluer et sélectionner les RI de concepts très en amont, même si à ce stade ces concepts n'ont pas encore de réalité physique. Notre objectif a été d'intégrer les dimensions sémantique et émotionnelle en considérant l'intégralité des phases amont et en proposant un outil compréhensible par les différents acteurs métiers. Trois expérimentations ont été réalisées dans trois secteurs : téléphonie, chaussure, et mobilier, afin de valider la genericité et la transversalité de l'outil.

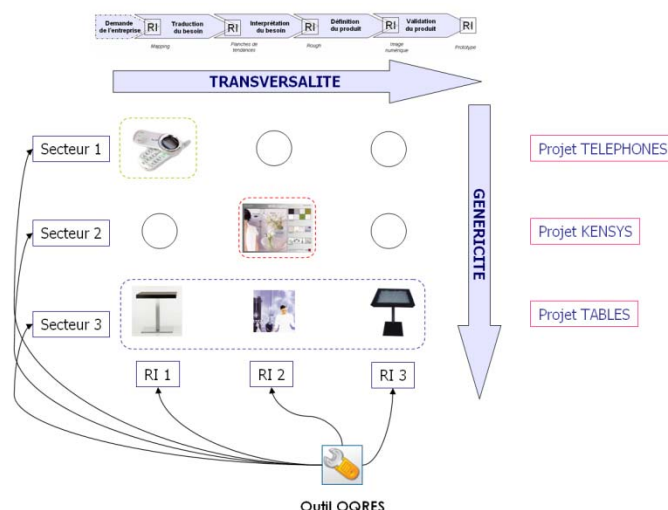


Figure 63: Positionnement des 3 expérimentations dans le processus.

L'expérimentation 1 a permis de valider l'applicabilité de l'outil d'évaluation sémantique et émotionnelle dans le secteur de la *téléphonie*. L'expérimentation 2, réalisée dans le cadre d'un projet industriel de conception de *tables de bar*, a permis de valider la genericité et la transversalité de l'outil. L'expérimentation 3, réalisée dans le secteur du *mobilier*, a permis de consolider l'outil. Ont été couvertes les phases

⁸ Ces qualificatifs peuvent provenir de différentes sources (brainstorming, mapping produit, constellations d'attributs, sources commerciales).

d'analyse du besoin avec l'évaluation d'images de tables existantes (RI1), de conception détaillée avec l'évaluation de planches de tendances en vue de définir des orientations design (RI2) et de validation de produit avec l'évaluation d'un prototype (RI3).

Expérimentation 1 : Evaluation de photographies de téléphones mobiles du marché

Protocole :

L'échantillon des produits était composé de 6 modèles (voir figure 65). 20 descripteurs sémantiques ont été utilisés: *astucieux, classique, compact, discret, high-tech, élégant, exclusif, intime, intuitif, léger, minimaliste, multi-fonction, mystérieux, innovant, pratique, professionnel, simple, sobre, unique, féminin*. Le panel de répondants comprenait 40 personnes.

Résultats :

Le cercle des corrélations associé à l'analyse sémantique (voir figure 65 gauche) a permis de mettre en évidence deux familles opposées, l'une exprimant la simplicité et la pureté avec les descripteurs *minimaliste, sobre, pratique, discret, simple, léger*, et l'autre exprimant l'originalité avec les descripteurs *unique, innovant, mystérieux, et exclusif*. Le modèle de téléphone 1 a été considéré comme *impersonnel, quelconque*, le 2 comme *high-tech* et le 3 comme très *simple*, les trois étant perçus comme *impersonnels*. Les téléphones 4, 5 et 6 avec ouverture ont été perçus comme *intimes, élégants, astucieux*. Le téléphone 4 avec une ouverture à clapet a été considéré comme assez *simple*, alors que les 5 et 6 avec ouverture rotative et par tiroir ont été perçus comme *high-tech*. Le cercle des corrélations relatif à l'analyse de la réaction émotionnelle a aussi fait apparaître deux familles, la première témoignant d'une certaine séduction du consommateur avec les réactions *inspiré, touché, stimulé, étonné, amusé, et enthousiaste*, et la seconde d'un sentiment de gêne et de malaise avec les réactions *mal à l'aise, perplexe et hésitant* (voir figure 65 droite). En outre, les consommateurs ont été *séduits* par le modèle de téléphone 5, *déstabilisés* par le modèle 6 et *sereins* par rapport au modèle 4. Ces résultats apportent un retour d'information vis-à-vis des différentes architectures proposées.

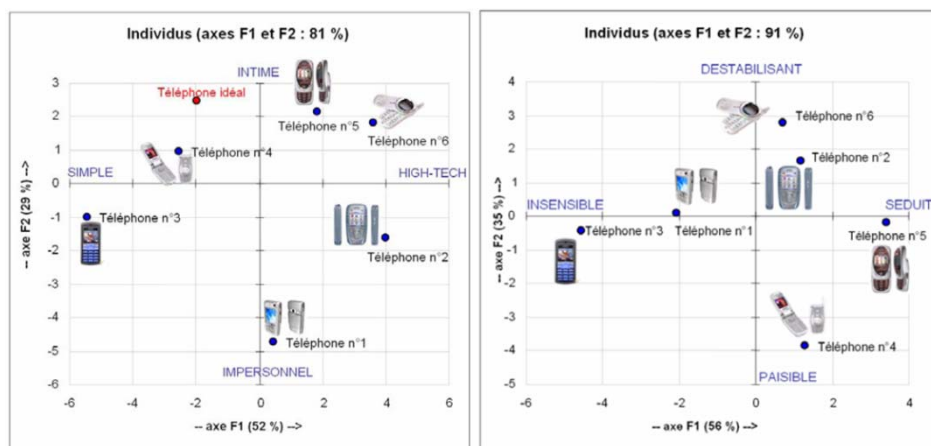


Figure 64: Expérimentation 1 : Résultats des ACP Sémantique et émotions

Expérimentation 2 : La deuxième expérimentation a consisté à faire évaluer des prototypes de tables de bar dans le cadre d'un projet industriel. Elle visait à valider la généricité et la transversalité de l'outil d'évaluation sémantique et émotionnelle.

Protocole :

L'échantillon des RI était composé de prototypes, de produits existants (figure 66) et de planches de tendances (figure 67). 16 descripteurs sémantiques ont été utilisés: *sobre, ludique, moderne, extravagante, minimaliste, traditionnelle, artistique,*

personnalisable, recherchée, divertissante, mystérieuse, naturelle, innovante, unique, légère, avant-gardiste. Le panel de répondants comprenait 35 personnes.

Résultats :

Concernant l'analyse sémantique, les tables 1 et 5 ont été considérées comme *artificielles* par opposition à la table 4 considérée comme *naturelle*. Les tables 1 et 4 ont un aspect plus *commun*, alors que tables 2 et 6 un caractère plus *distinctif, moderne, innovant, artistique et recherché*. La table idéale se distingue des autres mais sans excès, avec aspect plutôt *naturel*. Les deux prototypes (table 2 et 6) se rapprochent de la table idéale et se démarquent bien des autres modèles existants.

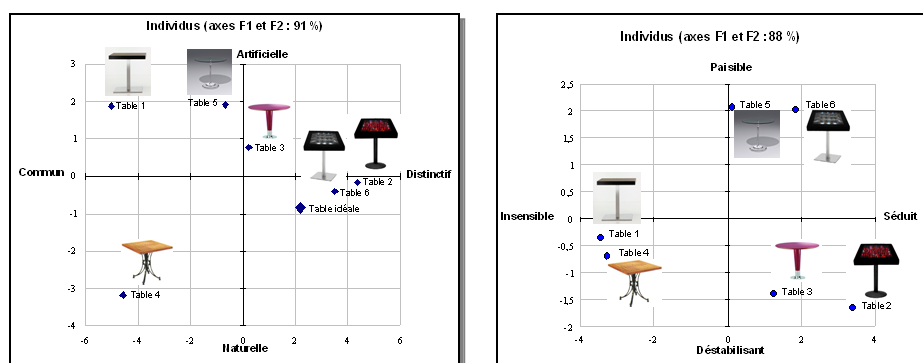


Figure 65: Expérimentation 2 : Résultats des ACP sémantique et émotions par rapport aux produits

L'analyse de la réaction émotionnelle liée aux prototypes et produits (figure 66) a montré que la séduction du consommateur (*étonnement, enthousiasme, inspiration, stimulation, fait d'être touché*) est liée au caractère distinctif des tables. Le caractère *peu commun, original, innovant* de la table *intrigue, séduit, ou inspire*, contrairement à un aspect plus *sobre ou traditionnel* qui rend le consommateur indifférent. Ces résultats ont confirmé la pertinence des deux prototypes du fait de leur caractère innovant, recherché, artistique et mystérieux qui les distingue des tables existantes, et répond aux attentes des consommateurs en les rapprochant de la table idéale qui présente un caractère *distinctif*.

Concernant les planches de tendances (figure 67), l'axe des ordonnées va d'une ambiance plutôt naturelle, calme, paisible (planches *Zen et Cristal*) vers une ambiance plus artificielle, ludique avec des couleurs vives et des matières moins naturelles (planches *Feu et Funky*). L'axe des abscisses va d'une ambiance commune et traditionnelle (planches *Sable et Fumoir*) vers une ambiance avec un fort caractère distinctif (planches *Funky, Feu et Espace*). Les planches *Sable et Fumoir* se rapprochent des descripteurs sémantiques *sobre, traditionnelle, minimaliste*, alors que les autres planches se rapprochent des qualificatifs *unique, recherché, avant-gardiste*.

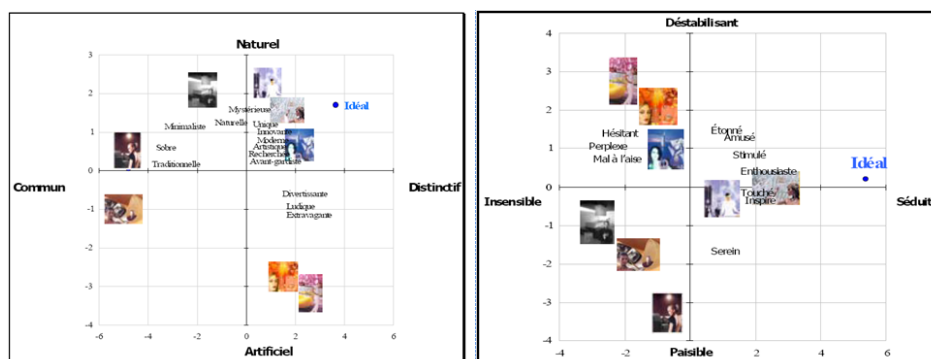


Figure 66: Expérimentation 2 : Résultats des ACP sémantique et émotions par rapport aux planches de tendances

Les planches *Zen* et *Cristal* sont celles qui séduisent le plus. Les planches très colorées et chargées telles que *Funky* ou *Feu* entraînent une réaction de malaise. Celles qui sont considérées comme traditionnelles ne séduisent pas (*Fumoir*, *Sable*). Les deux planches *Cristal* et *Zen* ont orienté le choix définitif des matériaux, formes et couleurs. La planche *Cristal* a été perçue comme cristalline par les consommateurs en référence à la transparence, à la fraîcheur et à la pureté, du fait de la présence de matières transparentes, des reflets et de la couleur blanc nacré. La planche *Zen* aux couleurs légèrement bleutées, avec un éclairage discret et des objets aux formes arrondies, a été perçue comme apaisante, fantastique, du domaine du rêve et de la spiritualité. Les critères de l'ambiance idéale se rapprochent de ceux des planches *Espace*, *Cristal* et *Zen* avec un caractère distinctif et naturel, ce qui confirme les résultats obtenus lors de l'évaluation des tables. La planche idéale a été imaginée comme *moderne, recherchée, mystérieuse, innovante, unique*, à l'opposé de *minimaliste, sobre et traditionnelle*. Finalement, le nouveau prototype (voir figure 68), évalué par rapport aux deux pré-concepts se distingue sensiblement des autres modèles et se rapproche davantage de la table idéale.

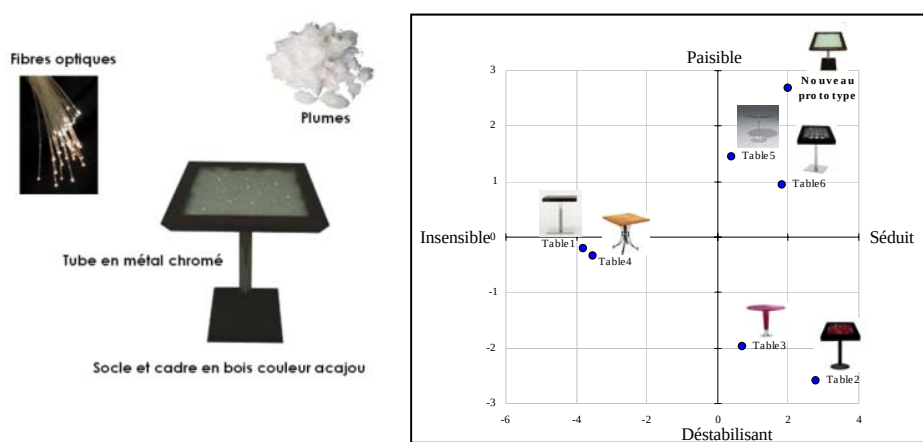


Figure 67: Positionnement du nouveau prototype en fonction des descripteurs sémantiques et émotionnels

Ce prototype génère une impression de *bien-être* et a un impact positif intense et supérieur à celui obtenu initialement pour les deux autres prototypes. Les consommateurs ont été *séduits* et *inspirés* par ce nouveau prototype qui a séduit par son caractère distinctif du fait de l'intégration de fibres optiques à l'intérieur de la table. L'association lumière-matériaux lui confère un caractère *innovant* qui le démarque des autres modèles de tables sans pour autant choquer le consommateur. Les lignes contemporaines du cadre, le piétement en métal chromé, sont là pour lui afficher un style moderne. Le contraste *naturel/moderne* a plu au consommateur. Le caractère *naturel* et *doux* est du à la présence de matières naturelles (bois) et à un éclairage discret. De plus, la référence à un ciel étoilé à partir de fibres optiques rend le produit *mystérieux* et *féerique*, et le choix des plumes qui fait référence à un nid douillet et cotonneux, donnant à la table une dimension *artistique*.

Expérimentation 3 : Une troisième expérimentation a été menée dans le cadre du projet KENSYS, afin de consolider la généricité et la transversalité de notre outil.

Une quinzaine de planches ont été évaluées dans le cadre du projet KENSYS, qui comportaient des spécifications de formes, textures ou couleur sous forme de palettes. Ces planches ont été évaluées à l'échelle européenne via un questionnaire web. L'évaluation sémantique et du ressenti émotionnel des planches a permis d'établir des spécifications de conception (formes, couleurs, textures) en fonction des réactions émotionnelles (voir 4.6.3).

Modèle, apports

L'évaluation proposée dans le cadre de la thèse de F. MANTELET en phase amont apporte un positionnement des RI de produits par rapport à leur sémantique et au ressenti émotionnel induit auprès des consommateurs. Cette thèse a validé la pertinence des échelles cognitives (lexicales et de Lang) afin d'évaluer des RI en contexte de conception amont. La méthode proposée peut compléter l'étude de marché classique et la définition du CDC en préconisant des caractéristiques produit selon les émotions qu'elles génèrent. Les expérimentations basées sur l'ACP valident la possibilité de quantifier le ressenti émotionnel du consommateur vis-à-vis de RI caractérisées par leur sémantique. L'ACP représente visuellement les résultats en les rendant facilement accessibles à l'ensemble de l'équipe projet. La première expérimentation a confirmé la pertinence de l'outil de quantification de l'expression sémantique et du ressenti émotionnel du consommateur. La deuxième et la troisième expérimentation ont permis de valider la transversalité et la généricité de l'outil, c'est à dire son applicabilité vis-à-vis des différents niveaux de RI ou des différents secteurs produit.

En phase d'*analyse du besoin*, l'étude sur les tables a consisté à utiliser l'outil OQRES dans le cadre de la réalisation d'un benchmark. Il s'est agi d'évaluer des photographies de tables existantes afin de pouvoir comparer deux prototypes déjà réalisés vis à vis des produits du marché.

En phase de *conception détaillée*, l'évaluation sémantique et émotionnelle n'a pas porté sur la table elle-même mais sur l'ambiance à transmettre à travers celle-ci. Pour cela nous avons utilisé des planches de tendances issues d'une ATC. Les deux prototypes déjà conçus se sont trouvés proches du concept idéal, d'où l'importance de conserver un concept associant un jeu de lumière aux matériaux. Les résultats obtenus avec les planches de tendances ont été cohérents avec ceux obtenus lors de l'évaluation faite sur les produits et prototypes.

En phase de *validation de produit*, il s'est agi de situer le prototype final par rapport aux deux prototypes initiaux et à la table idéale. Le prototype final a été perçu comme innovant et recherché, donnant une dimension artistique à la table, avec un caractère distinctif qui séduit les consommateurs. L'outil OCRES permet d'orienter la conception en phase d'analyse du besoin en s'inspirant des ambiances qui se rapprochent le plus de l'ambiance idéale. Les résultats positifs issus de l'évaluation finale ont montré l'importance d'intégrer le consommateur à travers les analyses sémantique et émotionnelle dans toutes les phases du processus de conception, afin de concevoir plus rapidement un produit qui réponde mieux à ses attentes. Lors de l'expérimentation sur les tables, nous avons utilisé l'outil OQRES de façon transversale dans le processus de conception. L'outil constitue un réel support en apportant à la fois des spécifications de conception et une validation des prototypes.

En conclusion, l'outil OQRES a été validé en prenant en compte les contraintes de transversalité et de généricité. Lors des trois expérimentations, l'expression sémantique et le ressenti émotionnel du consommateur ont été évalués dans les différentes phases du processus de conception, en phase amont lors de la *définition du besoin* (téléphones), en phase de *conception détaillée* (planches de tendances) et en phase de *validation produit* (tables). L'outil OCRES peut ainsi être appliqué selon une suite d'itérations d'évaluation de RI de produits à différents stades du processus de conception. Le traitement des données par l'équipe projet peut supporter la prise de décision. Nous avons établi le constat selon lequel les entreprises devraient prendre en compte les dimensions sémantiques et émotionnelle dans le processus de conception, en veillant à la compréhensibilité et à l'utilisabilité des informations pour l'ensemble de l'équipe projet. En pratiquant une analyse sémantique seule, les résultats sont plus difficiles à interpréter. L'utilisation transversale de l'outil OQRES

dans le processus permet de prendre en compte le ressenti émotionnel du consommateur dès les phases amont et d'aider à la définition des concepts.

Conclusion

Actuellement, l'outil OQRES permet d'évaluer le design viscéral et le design réflexif mais pas le design comportemental qui renvoie à l'utilité et à l'usage [Norman, 2004]. L'objectif est de compléter l'outil avec une possibilité de manipulation de l'objet. Les technologies de la RV permettront d'envisager de nouvelles pistes pour la réduction des cycles de développement et la maîtrise des dépenses, en favorisant les prises de décision anticipées et en réduisant le nombre des prototypes physiques. D'autre part, pour être utilisé par l'ensemble de l'équipe projet, l'outil OCRES pourrait être intégré à un outil informatique en complétant les descripteurs sémantiques par des descripteurs émotionnels. Ce logiciel préconiserait les caractéristiques de forme, texture et couleurs pertinentes par rapport aux descripteurs sélectionnés en fonctions des évaluations préalables. Nous proposons une mesure des émotions basée sur l'association d'icônes et de mots clés comme descripteurs émotionnels. Cette approche sera peu à peu complétée par des mesures physiologiques qui constituent un champ interdisciplinaire émergent en psychologie, neurosciences, et ingénierie Kansei. Par exemple la mesure ESAM (Emotion Spectrum Analysis Method) [Musha & al, 2000] étudie les réactions psycho-physiologiques que génère l'émotion chez le consommateur, avec des électrodes à capteurs thermiques placés sur la tête d'un utilisateur à des endroits précis pour analyser les fréquences. Ces travaux constituent des perspectives d'enrichissement de l'outil et de fiabilisation des résultats.

4.4.2 Computation de la phase d'évaluation

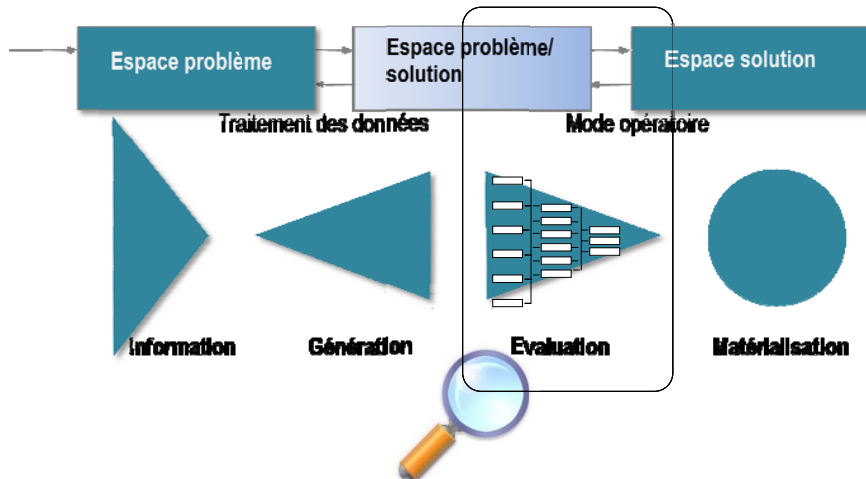


Figure 68: Computation de la phase d'évaluation

- **Introduction**

L'approche computationnelle de la phase d'évaluation a fait l'objet de nombreuses recherches en ingénierie Kansei. La plupart des références accessibles sur le sujet présentent des méthodes statistiques. Nous avons expérimenté ce type de méthode dans le cadre du projet KENSYS. Les limites que nous avons rencontrées avec les approches statistiques ont été en partie levées grâce à l'application d'outils de l'IA tels que des algorithmes de clustering. Ces applications sont présentées dans la partie 4.6 *Formalisation et computation du processus de conception amont: vers un méta-modèle d'ingénierie Kansei*.

- **L'Ingénierie Kansei**

L'ingénierie Kansei est une thématique émergente en Europe et plus mature en Asie. En Europe, on trouvera plus souvent les termes *ingénierie des émotions* ou *design émotionnel*. L'ingénierie Kansei vise à formaliser et expliciter, dans un contexte de conception, les dimensions sémantiques, sensorielles, axiologiques et émotionnelles projetées par les designers ou perçues par les consommateurs au travers de solutions design spécifiques. Elle permet d'établir des relations entre les impressions ou émotions des designers ou des utilisateurs et les caractéristiques physiques des solutions produits. Ces relations font l'objet de règles qui sont ensuite traduites sous forme d'algorithmes pour créer des automatismes intégrables au sein d'outils d'AAC. Cette approche vise à résoudre les problématiques de réduction des coûts et des délais, et à augmenter la variabilité des réponses produits en les rendant plus attractives pour le consommateur. L'ingénierie Kansei dite hybride [Nagamashi, 2002] permet à la fois d'aider à générer des solutions design en fonction de paramètres sémantiques, ou d'évaluer des solutions design en fonction de ces mêmes paramètres. Selon certains auteurs, le langage n'est pas une modalité suffisante pour mesurer le Kansei, d'où la nécessité d'adjoindre des mesures physiologiques du mouvement des yeux et rythmes cérébraux (brainwaves). Des études ont été menées dans ce sens dans le cadre de l'évaluation des réactions face à des œuvres d'art [Suh, 1999, Lee, Harada, 2002], ou plus récemment dans le domaine de l'évaluation de l'utilisation de jeu vidéos [Orero & al, 2010].

- **L'évaluation Kansei**

La plupart des recherche visant à évaluer la dimension Kansei réalisées à ce jour s'appuient sur la méthode du différentiel sémantique couplée à un traitement statistique des données [Tanoue, 1997, Matsubara, 1997, Jindo, 1997, Ishihara, 1997, Yang, 1999, Hsu, 2000, Chuang, 2001, Hsiao, 2002, Petiot, 2003, Mondragon, 2005,

Mantelet, 2006]. Des échelles de mesure d'attributs sémantiques bipolaires (échelles de Lickert) sont utilisées pour l'évaluation subjective d'ensembles de produits suffisamment variés pour provoquer des réponses émotionnelles différentes. Ces mesures sont ensuite comparées statistiquement pour fournir une distribution des produits selon les différents descripteurs sémantiques. L'analyse des résultats liés à chacun des produits évalués en correspondance avec leur caractère permet de déduire que certains attributs de produit sont responsables d'avoir suscité ce jugement. L'intérêt des échelles de mesures utilisées est qu'elles constituent un outil transverse applicable à l'ensemble des dimensions du Kansei : valeurs, attributs sémantiques et sensoriels, stylistiques. Concernant ces mesures, des études préalables ont montré que les experts et non experts jugent les objets selon les mêmes dimensions du Kansei **[Smets & al, 1995]**, mais que les experts opèrent un jugement plus subtil selon ces mêmes dimensions et différencient les propositions design de manière plus discriminantes. Les statistiques utilisées sont de type Analyse Factorielle, Analyse en Composantes Principales, ou Analyse de régressions Linéaires (Partial Least squares, Multiples, Multidimensional scaling) **[Mondragon, 2005]**. Les premières permettent de visualiser dans un espace sémantique un échantillon de produits selon les axes les plus discriminants. Les secondes sont utilisées pour définir des variables prédictives et des relations de causalité entre des blocs de variables **[Alvarez, 2007]**. Dans le cadre du projet KENSYS, nous avons expérimenté l'élaboration de règles Kansei à partir d'évaluation de produits (chaussures) sur la base d'un modèle d'analyse de régressions linéaires.

- **Elaboration des règles Kansei-Design**

Après avoir procédé à l'évaluation sémantique de RI de produits, les résultats globaux sont traités statistiquement par Analyse Factorielle. Les facteurs les plus discriminants spécifient les descripteurs sémantiques qui deviennent les axes sémantiques. Les règles Kansei peuvent être obtenues sur la base d'analyses de régressions linéaires multiples **[Ri1]**. Ce type d'analyse permet d'identifier les éléments design qui ont le plus d'influence sur les échelles sémantiques. Ce sont les équations linéaires qui permettront de générer les algorithmes **[Anderson & al, 1981]**. Les éléments design qui constituent des indices prédictifs potentiels selon différentes catégories (types de semelles, types de fermetures, matières, couleurs, formes, procédés) constituent des variables qui peuvent être entrées dans l'équation.

UK Semantic Axes	Casual	Contemporary - Original	Attractive - Tasteful	Fashionable	Practical - Hardwearing	Comfortable	Easy - Convenient	Expensive- Good Quality
Design Factors								
Top Profile								
Material								
Colour								
Fastening								
Sole Type								
Sole Material								
Seams Distribution								
Last Width								

Tableau 7: Eléments design qui influencent la perception de manière significative, secteur de la chaussure.

Les règles mettent en relation les éléments design du produit de références avec les axes sémantiques obtenus (voir tableau 8). Des modèles de régressions linéaires sont générés pour chaque axe sémantique afin d'analyser la prédictivité de chaque élément design.

4.5 Formalisation du processus de matérialisation

4.5.1 Introduction

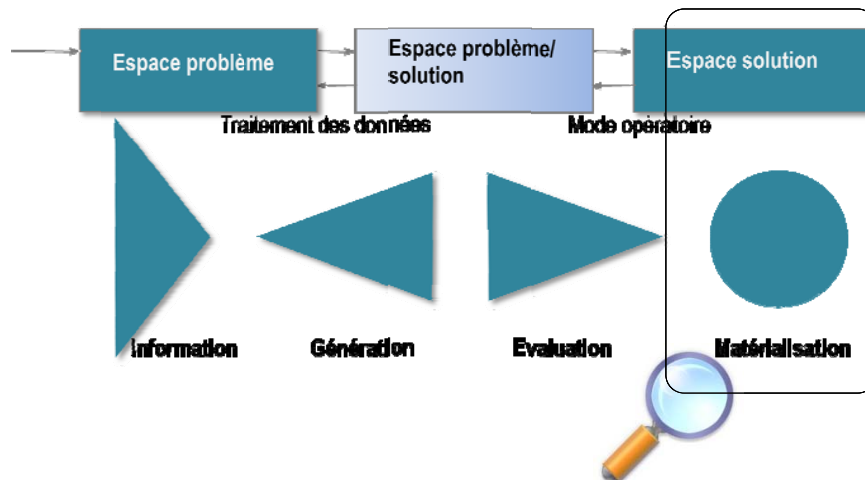


Figure 69: Formalisation du processus de matérialisation

Les phases précoces de la conception appellent l'élaboration et l'utilisation de *représentations intermédiaires (RI)* [Ri5] ou *objets intermédiaires (OI)* spécifiques [Boujut & Jeantet, 1998, Tichkiewitch & al, 2000, 2001]. On utilise le terme *représentation* à la fois pour décrire des images mentales ou des représentations explicites concrètes. Le terme *objets*, plus usité plus dans le second cas, réfère souvent à la conception détaillée [Lonchamp, 2004]. En phases amont, les opérations cognitives engagées n'aboutissent pas nécessairement à des représentations explicites. Notre recherche porte sur la compréhension du rôle que jouent ces représentations en conception amont, en vue de les optimiser. Les représentations explicites permettent de transférer progressivement l'information contenue dans l'espace problème vers l'espace solution, en utilisant des modèles analogiques et plastiques du futur produit. Ces modèles permettent peu à peu d'intégrer les contraintes de conception tout en rendant possibles les phases créatives de divergence [Lebahar, 1994]. Le second rôle de ces RI, qui prend toute son importance en ingénierie concurrente, est l'élaboration de RI communes et partagées, compréhensibles par l'ensemble des acteurs métiers. L'optimisation des RI en amont repose alors essentiellement sur la formalisation de nouvelles représentations jusqu'alors implicites, et la capacité à les rendre accessibles aux différents acteurs métiers. En effet la communication entre acteurs est une condition majeure de la réussite d'un projet de conception et reste un facteur de créativité très important. Les représentations explicites ou objets intermédiaires constituent ainsi des vecteurs de la coopération et de collaboration des acteurs qui garantissent une construction commune du projet [Mer, Tichikiewitch, Jeantet, 1995]. Ces supports permettent de réduire les incompréhensions [Schön, 1995, Johan, 2001, 2004, Sönerman, 2002, Batier, 1999] et favorisent l'échange de points de vue sur des informations existantes, la définition d'objectifs communs, et la construction d'information et de compétences en mode synchrone [Bocquet 1998, Foulon-Molenda, 2000].

- **Role des RI**

Les RI de produits-services jouent un rôle fondamental à la fois dans la résolution individuelle et collective du problème de conception et dans l'élaboration progressive de la solution. Elles favorisent la construction et la réalisation commune du projet en supportant la construction d'une vision commune partagée et cohérente selon un cycle *imprégnation-intégration-implémentation* (voir figure 71) [Ri6]. L'étape *d'imprégnation* correspond à la rencontre des acteurs métiers autour d'un CDC projet

qui aboutira à la proposition d'idées ou de concepts. L'étape d'*intégration* est celle de cristallisation des points de vue autour d'une représentation explicite commune. L'étape d'*implémentation* correspond à l'approfondissement réalisé collectivement par les acteurs métiers autour d'un ou plusieurs concepts sélectionnés et correspond au passage de la conception générale à la conception détaillée. L'apport de nouvelles RI explicites très en amont et l'amélioration des RI actuelles et leur intervention dans le processus peuvent ainsi contribuer à une optimisation globale du processus de conception.

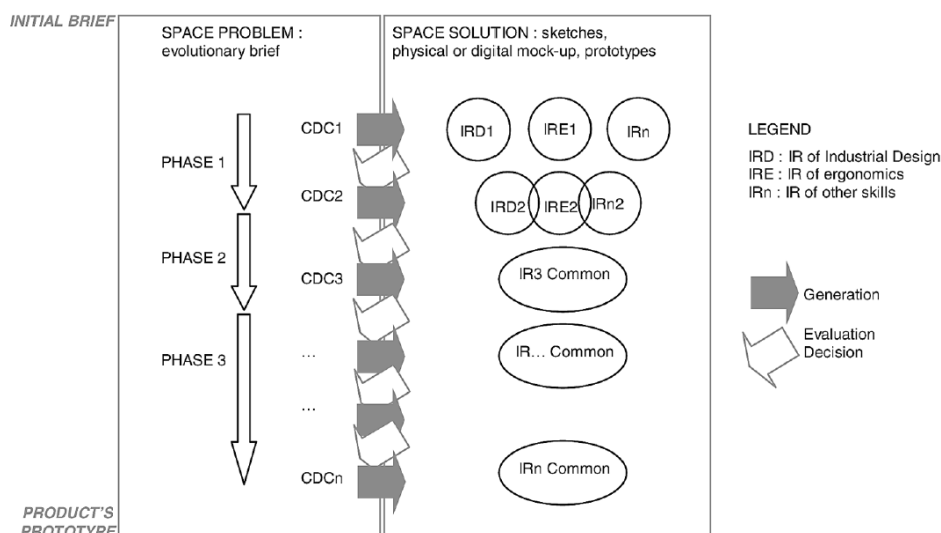


Figure 70: Evolution des RI au cours de la conception amont [Ri6]

• RI et créativité

Tout au long du processus de conception, on trouve des RI dont le niveau de concrétisation et de précision devient de plus en plus élevé. Les premières RI issues de la créativité sont habituellement le croquis et les esquisses. Ces représentations sont écologiques et volontairement imprécises afin de pouvoir faire évoluer les idées ou concepts par la confrontation et la comparaison [Vinck, 1995, 1999]. Les esquisses permettent l'utilisation d'analogies visuelles [Leclercq & al., 2002, Casakin, 2004, 2006, 2007] et révèlent des perspectives réalistes du produit. Elles sont interprétables par tous les acteurs [Dubuisson, 1995] même si elles laissent une certaine place à l'interprétation. Leur réalisation nécessite une maîtrise des techniques et outils de représentation. Le designer a ainsi la capacité de générer des représentations ou codes qui facilitent l'immersion d'autres acteurs dans la conception en cours [Bennet, 02], du fait de leur possible interprétation par les autres acteurs. En créativité, les phases de production passent par la génération de modes de RI variés. Les RI initialement produites, de nature lexicale, s'accompagnent ensuite de la génération de croquis puis d'esquisses. Les différents types d'illustrations formalisés tour à tour sont le schéma abstrait, le croquis accompagné de mots clés et les esquisses produites par les designers. Initialement, on trouvera des listes de mots ou des cartes mentales construites collectivement à partir d'outils de production d'idées tels que le brainstorming, l'analogie, l'inversion, les scénarios, ou les matrices de découverte. Si le processus est bien formalisé, les premiers résultats tangibles de la phase créative seront des fiches-idées qui sont le fruit d'une production collective réalisée selon un mode analytique. Les fiches idée, qui donnent toutes les informations relatives à une idée avant son évaluation, peuvent être enrichies individuellement par la suite.

- ***Thèse de Nadine Stoeltzlen en co-encadrement avec Améziane Aoussat 50/50%: Intégration de la dimension visio-graphique dans les phases amont du processus de conception de produits pour favoriser la collaboration inter-métier et la construction commune du projet [T4]***

La thèse de Nadine Stoeltzlen a porté sur l'intégration de la dimension visio-graphique dans les phases amont du processus de conception de produits pour favoriser la collaboration inter-métier et la construction commune du projet. Cette thèse a été soutenue en décembre 2006. La question de recherche traitée a été l'optimisation de la conception d'objets intermédiaires dans ces phases.

Objectifs de la thèse

Cette thèse s'est positionnée dans les phases amont de la conception de produits qui font intervenir les métiers du marketing, du design, de l'ergonomie et de l'ingénierie en configuration d'ingénierie concourante. La thèse porte sur la communication en contexte multi-métiers où le design intégré apporte son point de vue dans l'équipe de conception qui bénéficie ainsi de sa capacité à générer un langage commun grâce à sa vision holistique [Gérard, 2000]. L'expérimentation a porté sur l'intégration de deux méthodes à vocation multi-métiers: l'ATC et la créativité appliquée. Ces méthodes ont été appliquées dans les phases *d'analyse du besoin* et de *développement de concepts* en passant par différentes RI. Nous nous sommes intéressés aux RI classiques et à l'intégration de nouvelles RI propres aux outils de l'ATC et de la créativité.

Problématique et hypothèses

L'évolution vers une conception intégrée amène les acteurs métiers à travailler ensemble en même temps et de plus en plus tôt. Le partage des expertises au sein d'un groupe multi-métier a constitué la problématique majeure de cette thèse. L'hétérogénéité concerne aussi bien la culture métier que les codes et modes de communication associés. Cette hétérogénéité, si elle constitue la richesse du groupe, est cependant à l'origine de difficultés ou d'incompréhensions dues à des objectifs parfois contradictoires. Il devient alors nécessaire de définir et d'intégrer des médiateurs interdisciplinaires [Rehal, 2002, Boujut, 2002] ou modes de RI appropriés afin de faciliter la progression vers un objectif commun. La finalité est d'aboutir à une construction commune du projet et à un partage des spécificités métiers en rendant possible une compréhension commune et en réduisant ainsi les conflits de contraintes [Vinck, 1999]. Ici, l'aptitude à générer un langage commun compréhensible par tous est essentielle. La matérialité des RI a un impact positif car elle permet l'échange, la discussion et la confrontation autour du futur produit. Cette thèse propose de minimiser les pertes d'information pour améliorer la communication à partir de règles de communication visuelle [Joly, 2003]. Ces règles s'appliquent à la composition des représentations visio-graphiques. Les représentations visio-graphiques sont des représentations visuelles et ou graphiques proches du réel qui ne nécessitent pas d'expertise métier pour être comprises mais en nécessitent une pour être construites (esquisses préliminaires et finales). Le designer est capable de générer ce type de représentations explicites et analogiques qui mettent les acteurs à égalité. La thèse propose d'améliorer les représentations existantes et d'intégrer de nouvelles représentations lors des phases collectives.

Expérimentation

Deux expérimentations ont été menées. L'une a porté sur un projet de créativité industrielle dans un cadre de recherche-action auprès d'un grand constructeur automobile, et l'autre, plus expérimentale, ayant été réalisée en laboratoire. Les RI analysées sont celles qui sont produites dans les phases amont de la conception dans le cadre de l'ATC, du *design* et de la *créativité appliquée*, les RI de l'ATC constituant des données d'entrée pour la créativité. L'objectif des expérimentations a été d'une part,

d'introduire des règles pour l'élaboration des RI visio-graphiques de l'ATC afin de les optimiser, en particulier pour les acteurs non designers qui contribuent à leur élaboration, et d'autre part d'apporter de nouvelles représentations visio-graphiques en créativité pour améliorer la coopération.

Expérimentation 1 : Analyse des RI de l'ATC

Les RI de l'ATC construites par l'équipe de conception sont *le mapping sémantique* et les *planches de tendances*. Ces représentations sont majoritairement composées d'images accompagnées de quelques mots clés. Il s'est agi d'évaluer l'impact de l'utilisation de règles de construction pour la composition des RI sur leur perception et leur compréhension par des acteurs non designers. L'application des règles a visé à clarifier le message, augmenter l'efficacité de ce type de RI et en optimiser l'impact de communication au sein de l'équipe de conception.

Protocole



Figure 71: Exemples de planches construites selon le même protocole que les planches testées

Des RI visio-graphiques ont été élaborés sur la base de l'ATC : des *planches de tendances* ont été produites par 5 concepteurs (voir exemples figure 72), à la suite de quoi des tests de compréhension ont été menés avec 10 autres concepteurs pour vérifier si le message implicite global émis par les planches était perçu par ce panel tel qu'il avait été défini lors de sa construction. Ces tests ont comporté une partie orale et une partie écrite pour l'association spontanée de termes avec les planches. Chacune des 8 planches a été évaluée individuellement selon 6 critères : *cohérence par rapport au thème des images, cohérence plastique, respect du sens de lecture et de la composition, cadrage des photographies, cohérence par rapport à la perspective, niveau de compréhension et classement par préférence*. En complément, des commentaires relatifs à la première impression vis-à-vis des planches ont été recueillis. Puis le test s'est focalisé sur comment le participant comprenait la planche à travers des mots qu'il devait exprimer. Les termes utilisés pour décrire la planche ont été classés selon les 3 catégories *générique, précise, subjective*. La dernière partie du test a consisté à faire relier les mots proposés dans une liste prédéfinie aux différentes planches, et à classer les planches par ordre de préférence. L'ensemble des tests a été filmé et les commentaires ont été recueillis par moyens vidéo.

Résultats

Cette première expérimentation a permis de valider que la conception de RI visio-graphiques issues de l'ATC telles que des planches de tendances nécessite l'intégration de codes de communication visuelle. Les termes émis par les testeurs ont été comparés aux termes proposés par les auteurs des planches afin d'appréhender comment elles ont été comprises, en prenant en compte le temps de parole: 2 planches ont été bien comprises, 3 moyennement et 2 pas du tout. Les participants ont ensuite établi des associations entre les planches et la liste des termes pré-définis par les auteurs des planches. Puis celles-ci ont été classées par ordre décroissant de

compréhension. Ceci a permis d'observer si une planche non appréciée a été bien comprise. Les résultats ont révélé que seulement 4 planches sur 8 ont été correctement comprises par les participants, et 2 planches ont été comprises selon un sens différent de celui initialement prévu. Pour la planche la mieux comprise, la lecture et la compréhension ont été rapides. Cette planche n'a cependant pas été la plus appréciée. Certains éléments ont fortement influencé la compréhension: le profil du participant, le choix des photographies (qualité, adéquation et cohérence/thème, sémantique) et la composition des planches (cadrage, cohérence plastique globale). Lorsqu'il y a rupture dans la cohérence sémantique, le lecteur comprend mal le sens de la planche. Cependant, 2 planches dont les photographies correspondaient au sens requis ont été mal comprises. Un trop grand nombre de photographies ou une redondance de photographies sur un même sujet peuvent ainsi avoir un impact négatif sur la compréhension. Le décodage s'avère plus rapide si la composition respecte la perspective. Pour résumer, l'adéquation au thème et la cohérence dans la composition sont deux conditions à respecter pour une bonne compréhension de la planche. Différentes manières de décrire les planches sont apparues en fonction des métiers des testeurs en termes de niveau de détail et de précision. Les 3 catégories *générique*, *précise*, *subjective* n'ont pas été systématiquement renseignées par les participants. Beaucoup d'impressions ont été évoquées. Les participants ont aussi fait référence à leur vécu, leurs souvenirs. Conformément au protocole, 4 planches intégraient les codes de communication visuelle et 4 les intégraient peu. Seules les 4 planches qui les intégraient ont été bien comprises. Les autres émettaient un sens indécodable. Les résultats de cette analyse démontrent qu'il est indispensable d'intégrer des codes de communication visuelle dans la génération de RI visio-graphiques composées. Les tests ont montré que certains éléments influent sur la compréhension du message (qualité photos, adéquation au thème, composition, homogénéité chromatique, lignes de lecture constituées) d'où la nécessité d'intégrer un *CDC visio-graphique*.

Expérimentation 2 : Analyse des RI de la créativité appliquée et du design

La créativité collective fait intervenir des groupes multi-métier accompagnés d'un animateur qui définit une combinaison d'outils pour générer des idées et concepts. Les RI générées sont tour à tour des mots clés, croquis, esquisses, formalisées, fiches idées et fiches concepts. Le problème induit par le croquis qui sert à illustrer des idées ou des concepts est que ce type de représentation est difficilement compréhensible par les acteurs et laisse une part importante à l'interprétation, d'où la nécessité de les compléter pour pouvoir les rendre interprétables par tous. Ce point rend la retranscription des séances difficile. La plupart du temps, les concepts ne s'identifient pas rapidement. Il s'ensuit une perte d'information, de temps et d'énergie. Ainsi il nous a semblé que la coopération des acteurs lors des phases de créativité appliquée pourrait être améliorée du point de vue des RI.

Protocole

L'expérimentation a porté sur la recherche de nouveaux concepts de châssis modulaires en contexte industriel. Deux représentants de la structure innovation de l'entreprise et 2 experts en créativité du LCPI ont défini la méthode en programmant les séances et les outils. Ils ont réalisé l'animation, organisé l'évaluation des concepts et procédé à la synthèse **[Rc7]**. Un groupe de travail a été constitué après avoir analysé la demande du commanditaire. Ce groupe était constitué du commanditaire (architecture véhicule), du chef de projet et des métiers : style, ergonomie, architecture (2), innovation (2), produit (2 marques), et designers externes (2) pour illustrer les phases de *brainstorming* et de formalisation des concepts. Notre analyse a porté sur la nature et la quantité des RI générées, sur l'impact des RI sur le travail en groupe et sur l'évolution de la construction du projet. L'approche créative a été scindée en trois phases représentées figure 73.

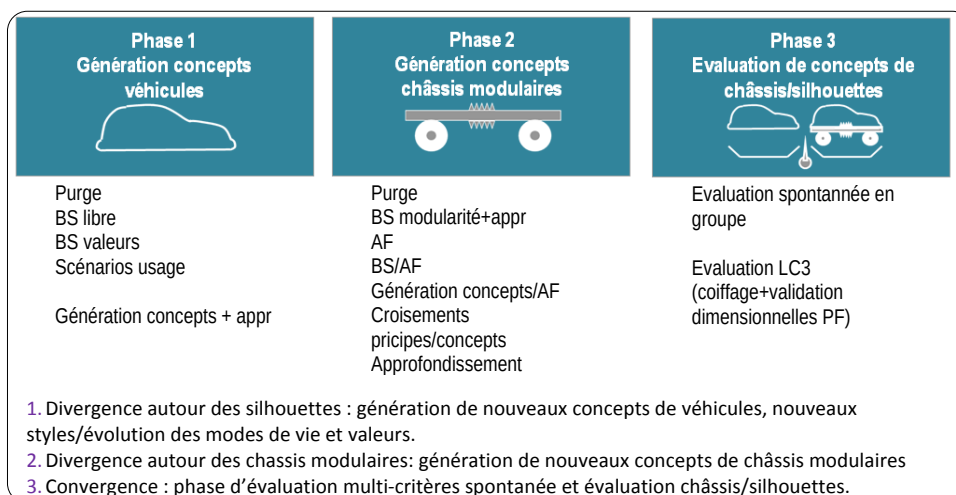


Figure 72: Approche créative, projet Châssis modulaire [Rc20]

Résultats

Cette deuxième expérimentation en créativité a permis de valider le fait que les représentations utilisées par les designers dans les sessions favorisent la collaboration entre les acteurs métiers et la construction commune du projet.

Phases	RI Visiographiques	Proportions	Quantité
Phase 1 : génération concepts véhicules silhouettes	Schémas	0%	0
	Croquis	54%	128
	Esquisses	46%	108
Phase 2 : génération concepts châssis modulaires	Schémas	20%	24
	Croquis	80%	102
	Esquisse	0%	0
Phases 1 + 2	Schémas	7%	24
	Croquis	63%	230
	Esquisses	30%	108

Tableau 8: Tableau de synthèse des RI visiographiques produites lors de la session complète en créativité

Les RI produites lors de la phase de *génération de nouveaux concepts de véhicules (phase 1)* ont été des mots clés complétés par des croquis lors de la purge, de nouveaux croquis lors du *brainstorming* et des esquisses préliminaires de nouveaux concepts de véhicules lors des *scénarios d'usage*. Ces concepts ont ensuite été approfondis en implémentant les esquisses. La production totale autour des 15 concepts a été la suivante : 128 croquis et 108 esquisses (voir tableau 9). Lors de l'étape de génération de concepts, la qualité de représentation et de lisibilité des concepts a varié en fonction des différents sous-groupes, les groupes avec designers ayant produit plus de concepts et de croquis, ces derniers s'étant avérés plus compréhensibles. Finalement, les designers ont redessiné les 15 concepts en formalisant des planche-concepts mises en page numériquement et présentées uniformément avec le même niveau de détail et de lisibilité. Ce lissage de l'information a précédé l'étape d'évaluation des concepts par les métiers. Lors de la *phase de génération de nouveaux concepts de châssis modulaires (phase 2)*, deux voies ont été explorées en parallèle, l'une axée sur la modularité, et l'autre sur l'analyse fonctionnelle, avec comme données d'entrée les concepts de silhouettes issus de la phase 1. Les RI produites lors de cette phase ont été les croquis générés lors de la *purge*, et de nouveaux croquis et des schémas réalisés essentiellement par les groupes sans designer lors du *brainstorming*. Trois concepts de châssis ont finalement été produits, qui ont donné lieu à un approfondissement. Comme dans la phase 1, la production a varié selon la présence ou non de designers. L'étape d'approfondissement a été réalisée sans designer. La quantité de RI générées a été

nettement plus faible par rapport à la phase 1. Les schémas élaborés ont été retravaillés en version numérique afin d'être compréhensibles par le groupe. Au total 24 schémas ont résulté de cette phase, 102 croquis et aucune esquisse. Les trois concepts de *châssis modulaires* ont ensuite été évalués selon les critères de l'analyse fonctionnelle puis à l'aide d'un outil numérique de validation dimensionnelle des silhouettes vis-à-vis des architectures. Ces 3 concepts se sont avérés pouvoir accepter plusieurs concepts de véhicules générés en phase 1. Notre analyse a porté sur la nature et la fréquence des modes de RI utilisés dans les différentes phases du projet et leur impact au niveau du groupe de créativité. Les designers sont intervenus dans la phase 1 et partiellement dans la phase 2. Ils ont généré plus de 90% des RI pour illustrer les idées et concepts émis par les autres membres du groupe. En terme de pourcentage global des RI, ont été générés 7% de schémas, 63% de croquis et 30% d'esquisses. Durant la phase de génération de concepts de châssis, les designers n'étaient pas systématiquement présents dans les groupes. Certaines idées traduites sous forme de schémas ont du être précisées car elles étaient incompréhensibles. En se basant sur les mots, schémas et plans techniques, les designers ont complété les schémas initiaux par des croquis ou esquisses avec des RI plus concrètes et basées sur une analogie forte avec le réel aboutissant aux *planches-concepts* (voir figure 74). Ces RI synthétisent l'ensemble des idées du groupe sous forme d'esquisses, croquis et mots clés. Lors de l'étape d'approfondissement, elles ont constitué un support de discussion important permettant d'intégrer l'apport spécifique chaque acteur métier. Grâce à ces RI visio-graphiques compréhensibles par tous, chaque concept a bénéficié d'une identité visuelle facilitant sa lecture. Pour les deux phases génération de concepts, des *planches-concepts* ont été formalisées par les designers à partir d'un travail en sous groupes.

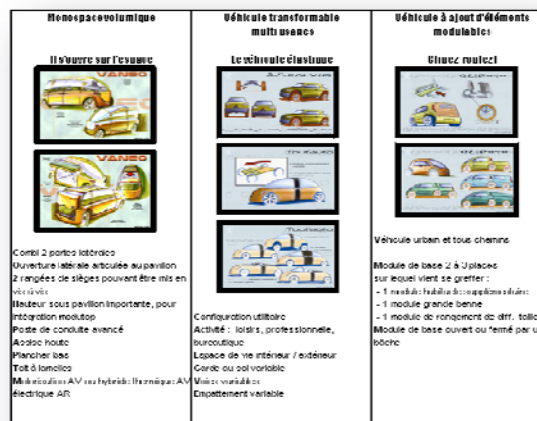


Figure 73: Exemple de planche-concepts.

L'ensemble des RI générées, des plus abstraites aux plus concrètes, conduit à une compréhension de plus en plus aisée par les acteurs métiers. Plus elles sont abstraites ou éloignées du réel (c'est le cas pour les mots), plus la liberté d'interprétation est grande. Afin de préserver la divergence lors des premiers brainstormings, les RI visographiques, proches du réel par nature, ne sont pas utilisées car elles pourraient avoir un effet limitant sur la production d'idées à ce stade. Par contre, elles sont indispensables dans les phases de génération et d'approfondissement des concepts, où les designers dessinent en temps réel alors que les autres acteurs métiers discutent et font évoluer ces RI. Le partage est quasi-immédiat. Les RI visio-graphiques aident donc à la coopération, mais ne sont pas forcément adaptées à toutes les étapes de la créativité, notamment à l'étape initiale d'analyse du problème où elles peuvent restreindre le champ des possibles. Par contre elles sont produites aux étapes de génération de concepts et deviennent indispensables dans les étapes d'approfondissement. La phase de génération de silhouettes a été plus ouverte et a

offre davantage de liberté, alors que la phase de génération de châssis modulaires à caractère plus technique a nécessité l'intégration de plus de contraintes. Des croquis ont été générés dans les deux phases mais en plus grande quantité dans la phase 2. Par contre les esquisses ont été générées dans la phase de génération de silhouettes uniquement et les schémas exclusivement dans la phase de génération de concepts de châssis où ils ont été suffisants pour la compréhension des concepts à caractère plus techniques. Le degré de divergence attendu et la nature du sujet plus ou moins technique exigent des modes de RI adaptés. Les différents acteurs métiers ont peu à peu apporté leur expertise pour enrichir les concepts générés et les rendre plus robustes avant l'évaluation effectuée sur la base des représentations visio-graphiques. Ces représentations co-construites et comprises par tous peuvent être considérées comme communes. Même si l'esquisse est réalisée par un seul acteur, les autres acteurs métiers contribuent verbalement à son élaboration. On est obligé de passer par les RI communes afin de pouvoir ré-enrichir ensuite d'un point de vue métier. La forte identité visuelle développée dans le projet a apporté une aide à la décision pour les managers, en leur permettant de s'immerger rapidement dans les différentes solutions et de faire des choix.

Apports

Du constat que la coopération pourrait être améliorée en conception amont, la problématique portait sur l'optimisation de la conception des RI dans ces phases. L'expérimentation a permis de valider que l'amélioration de la communication visuelle à travers la dimension visio-graphique peut favoriser la coopération et la construction commune du projet. Cette thèse a permis de définir une démarche d'intégration de la dimension visio-graphique issue des pratiques métiers dans les phases amont, appliquée à l'ATC et la créativité. Les RI associées favorisent une compréhension commune dans la mesure où elles se basent sur une forte analogie avec le réel et sont ainsi immédiatement compréhensibles. Elles sont des vecteurs d'échange et de coopération, de canalisation des expertises et d'enrichissement métiers en évitant les allers-retours pour avancer dans la construction commune du projet.

L'ATC fournit des RI qui aident à la construction de représentations précoces en contexte multi-métiers pour visualiser une ambiance. Il est nécessaire de mettre en œuvre certaines règles de construction afin d'assurer un niveau de compréhension suffisant de ces RI par les acteurs métiers. Un complément méthodologique s'avère nécessaire pour la formalisation des RI de l'ATC afin d'obtenir un message clair et de diminuer les ambiguïtés. L'utilisation d'outils numériques augmente le temps de traitement de l'information de plus de la moitié du fait de la scannérisation des images. Par la suite on observe un gain de temps et de qualité pour la composition, avec l'avantage de conserver une trace numérique de toutes les étapes d'information, catégorisation, et montage, avec la constitution d'une BDD d'images. La numérisation des données permet un transfert et une accessibilité rapide à l'information, avec la mise en place de codes plus rapide grâce à l'utilisation de *templates*.

La *créativité collective* se trouve enrichie par la dimension visio-graphique qui est un vecteur accélérateur et catalyseur de coopération lors des étapes de génération et d'évaluation des concepts. L'intégration de RI visio-graphiques communes fédère les acteurs autour de représentations compréhensibles et s'avère essentielle dans la phase de convergence lors de la définition des concepts et leur approfondissement. Cependant ces RI ne doivent pas être intégrées trop en amont, et le type de RI dépend du type de sujet posé en créativité. En effet les représentations visio-graphiques engendrent des images mentales relativement précises auprès des acteurs qui ne doivent pas arriver trop tôt pour laisser une ouverture suffisante. Par contre tous les acteurs ont eu accès au croquis une fois les étapes de divergence passées. C'est à ce niveau que les croquis présentent un intérêt fort pour enrichir les idées émises. Lors de la génération de concepts, les RI visio-graphiques, décodables par tous les acteurs, ont

permis l'obtention de résultats plus poussés et de meilleure qualité. En revanche pour des domaines fortement contraints d'un point de vue technique, ces RI semblent ne pas être indispensables.

Conclusion

Un CDC visio-graphique a été proposé comme aide à la génération de RI visio-graphiques. L'introduction de règles de construction et d'élaboration de ces RI peut faciliter la collaboration en augmentant leur qualité perçue et leur potentiel de communication ou d'argumentation auprès des décideurs. Le *CDC visiographique* présente une procédure d'intégration des codes universels de la communication visuelle pour réaliser les planches de tendances selon un message précis et compréhensible par les acteurs. La présence de cet outil est indispensable pour l'élaboration des RI de l'ATC par les différents acteurs métiers. En perspective il est proposé d'élargir cette réflexion sur les modes de RI à d'autres phases de la conception tout en étudiant leur impact sur la créativité. Des tests intra-métiers des RI pourraient être effectués, et d'autres RI visio-graphiques pourraient être générées et testées. L'extension à la 3D constitue aussi une perspective de recherche intéressante. Enfin l'intégration des RI en amont de la chaîne numérique, et la comparaison fonctionnelle des RI physiques ou numériques constitue un axe de recherche pour le futur.

4.6 Formalisation et computation du processus de conception amont : vers un méta-modèle d'ingénierie Kansei

4.6.1 Introduction

Notre positionnement en conception amont, la nécessité d'intégrer des informations et règles relatives à l'expertise design et la finalité computationnelle de notre recherche nous situe d'emblée dans le domaine de l'ingénierie Kansei. L'ingénierie Kansei constitue en effet une thématique de recherche privilégiée pour établir et computer des règles Kansei et design. Elle constitue un lieu de convergence entre les disciplines des sciences de la conception, de la psychologie et de l'IA. Elle tend aussi à se développer mondialement avec un rapprochement des travaux de recherche entre l'orient et l'occident. Elle couvre enfin de manière toujours plus évidente nos préoccupations de recherche qui visent à :

1. Modéliser les processus cognitifs des concepteurs pour extraire les routines et établir des règles expertes.
2. Etablir des algorithmes support pour le développement d'outils numériques d'AAC visant à supporter la génération, la visualisation ou l'expérience, et l'évaluation de modèles intermédiaires.
3. Intégrer les algorithmes pour avoir à disposition des fonctions semi-automatiques intégrables au sein d'outils AAC.

4.6.2 Formalisation du lien réciproque entre les phases de génération et d'évaluation [Ri7, Ri1]

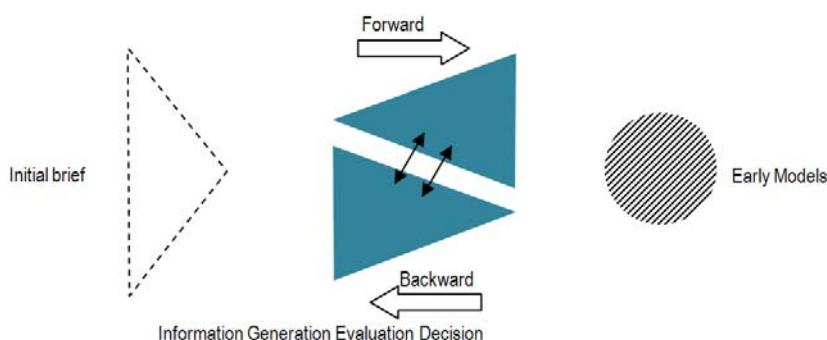


Figure 74: Description d'un cycle de matérialisation en Ingénierie Kansei

Les analyses menées traditionnellement en marketing, ergonomie ou conception considèrent le consommateur comme une source d'évaluation plus que comme une source de génération d'idées. Cette stratégie basée sur une approche par essais et erreurs a été remise en cause par les méthodes d'ingénierie Kansei qui visent à traduire de manière pro-active les réactions affectives des consommateurs en éléments design, et préconisent l'évaluation avant de lancer le produit sur le marché. Ces méthodes ont fait leur preuve dans l'industrie Japonaise où elles sont pratiquées depuis les années 70. Cependant, la majorité des recherches menées en ingénierie Kansei à ce jour sont centrées sur les phases de génération et d'évaluation, parfois selon une relation réciproque selon le modèle de [Nagamashi, 2002]. Mais la phase d'information est absente de la plupart de ces recherches. Le positionnement international des approches Kansei (voir figure 76) comprend les approches menées au Japon qui portent plus sur la génération automatique de solutions et les approches menées en Europe qui se concentrent plus sur l'évaluation.

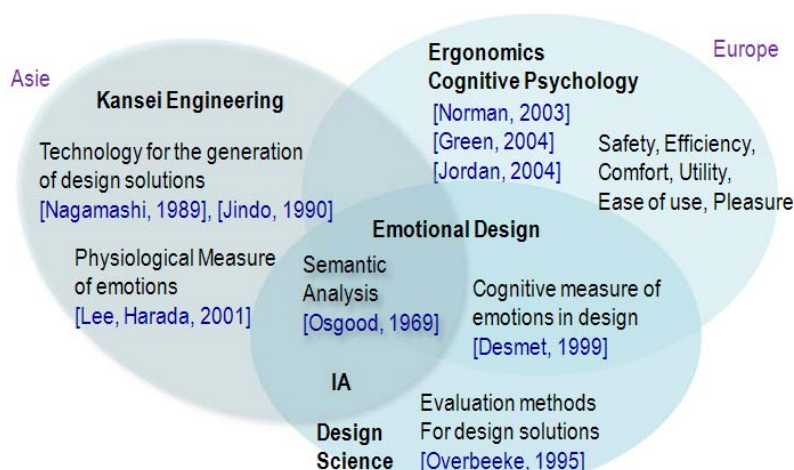


Figure 75: Kansei et Design émotionnel, un rapprochement orient-occident, un rapprochement des disciplines

Les deux approches s'appuient sur les liens entre le contenu de bases de données collecté dans la phase d'information, composé de corpus de mots et d'ensembles d'éléments design proposés par des experts designers. Pour la génération de solutions, d'autres approches portent plus sur des techniques évolutionnaires et plus particulièrement sur les opérations génétiques permettant de générer un grand nombre de solutions design [Sato, 2001]. Dans l'approche inverse, les résultats d'évaluation sont les données d'entrée pour pouvoir générer des objets à partir de spécifications sémantiques. Ces approches souffrent encore d'un caractère statique des bases de données [Ri8]. En effet nous avons démontré dans nos recherches antérieures l'importance du rôle de la phase d'information et en particulier des

sources d'inspiration dans le processus créatif comme support au raisonnement analogique. Certains systèmes s'orientent donc vers des outils Kansei visant plus particulièrement à alimenter les BDD en information [Ci18, Kuroda, 2002], comme nous l'avons montré dans la partie *Computation de la phase d'information*. Il est probable que ces systèmes, tels que le système TRENDS, ou de futurs systèmes basés sur l'ATC, feront partie intégrante des futurs systèmes d'ingénierie Kansei. Nous nous acheminons alors vers un outil de convergence Kansei comme méta-modèle computationnel du processus de conception amont.

4.6.3 Vers un méta-modèle computationnel

La numérisation est une étape nécessaire pour accélérer et fiabiliser le processus de conception, en permettant entre autres la ré-utilisation rapide des connaissances [Bernard & Fisher, 2002]. A plus long terme, l'outil Kansei idéal doit pouvoir couvrir les trois phases d'information, de génération et d'évaluation dans un même espace numérique Kansei, où se concrétisera la chaîne numérique de conception. Les modules d'information, d'évaluation et de génération devront ainsi fonctionner dans le même espace de manière intégrée avec la possibilité de mener ces phases en même temps. Un premier pas dans ce sens a été le rapprochement des phases d'évaluation avec les phases de génération dans le cadre du projet KENSYS décrit ci-dessous.

- **Le projet KENSYS (Kansei Engineering SYSTEM)**

Objectif de recherche

Le projet KENSYS est un projet d'innovation (IPS-2001-42075/2003-2006) qui a été financé par la Commission Européenne. Le coût total de l'implication du LCPI était de 166k€ pour un budget total de 1.41 M€. Ce projet a été coordonné par l'Institut de Biomécanique de Valencia (IBV) en collaboration avec le LCPI, le Département Statistiques de l'Université de Newcastle (ISRU) et les sociétés Pikolinos, Bjarnis, Cofoot et Dièdre Design qui ont apporté un terrain expérimental pour la conception de chaussures. L'objectif scientifique du projet a été la définition d'une méthodologie de conception basée sur l'ingénierie Kansei et le développement d'un démonstrateur logiciel associé. Ces outils devaient permettre de concevoir des produits basés une évaluation sémantique pour proposer ensuite des éléments de conception de manière semi-automatique. J'ai eu en charge la coordination du lot 1 qui visait à intégrer le besoin utilisateurs au sein du système d'ingénierie Kansei. A partir d'un état de l'art sur l'Ingénierie Kansei, nous avons défini une méthode d'intégration des données utilisateurs basée sur l'évaluation sémantique et émotionnelle de RI de produits (planches de tendances, produits). Nous avons aussi introduit la prise en compte des tendances dans les approches Kansei, et avons testé d'autres technologies pour rendre semi-automatiques les règles design. Nous avons défini un modèle théorique dont l'originalité réside dans l'intégration de données sur les tendances au sein du système et dans le complément de l'évaluation sémantique par une évaluation émotionnelle. Nous avons aussi formalisé des règles Kansei à l'aide d'algorithmes de clustering. Ces règles ont permis de relier des descripteurs sémantiques et des attributs lexicaux caractérisant les paramètres visuels de RI à partir de données expertes produites par les designers de la société DIEDRE DESIGN.

Les verrous

Les bases de données utilisées en ingénierie Kansei sont généralement composées de descripteurs et d'éléments design basés sur les produits existants. Les approches actuelles en ingénierie Kansei sont altérées par un manque d'ouverture sur les secteurs d'inspiration des designers. D'autre part l'évaluation reste avant tout sémantique sans intégrer la dimension émotionnelle. Enfin, les valeurs des

consommateurs ne sont pas prises en compte à travers ces approches. Notre objectif de recherche a été d'intégrer la méthode ATC afin d'apporter des données d'entrées au processus d'ingénierie Kansei, et d'introduire l'évaluation émotionnelle en plus de l'évaluation sémantique. Enfin, concernant l'élaboration des règles Kansei, nous avons exploré l'apport d'algorithmes de clustering afin d'intégrer les règles expertes des designers. Cette approche a présenté l'avantage de ne pas avoir à faire à des panels lourds et des approches coûteuses en temps.

Apports scientifiques

Les dispositifs d'ingénierie Kansei sont composés de différentes BDD connectées à un moteur d'inférence, à une mémoire de travail, à un système de contrôle et une interface graphique [Nagamashi, 2002]. Après la construction des BDD, on établit des règles Kansei afin de les intégrer sous forme d'algorithmes au sein d'un outil AAC pour l'évaluation ou de génération semi-automatique de RI. Dans le cadre du projet KENSYS, nous avons complété le modèle de Nagamashi par trois types d'informations : tendances, valeurs et émotions (voir figure 76).

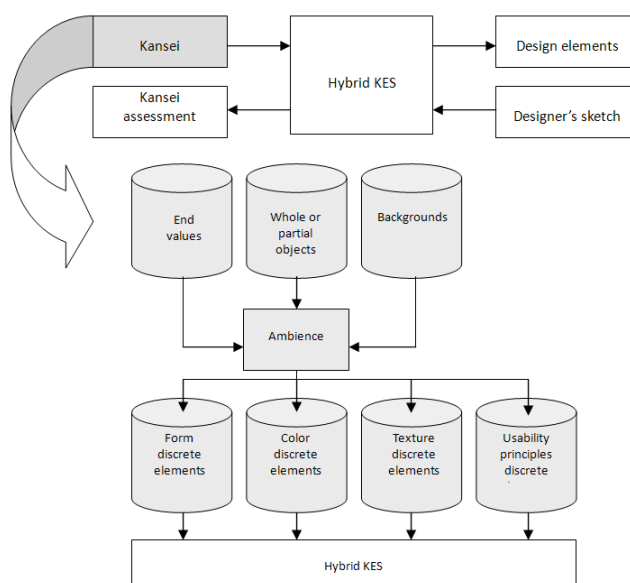


Figure 76: Revised Kansei System [Ri7]

La prise en compte des tendances peut ainsi permettre d'alimenter les BDD en information. Concrètement, cela se traduit par l'intégration de supports représentatifs des tendances, évalués au même titre que les RI du produit pour établir les règles de conception. Cette évaluation menée très en amont sur des planches de tendances permet de recueillir très tôt les réactions des consommateurs avant même d'avoir formalisé les premières solutions design [Ri1]. Afin d'améliorer les approches classiques d'ingénierie Kansei, nous avons complété l'évaluation sémantique par une évaluation émotionnelle qui utilise les même type d'échelles (thèse de F. Mantelet). Dans le cadre de l'évaluation des planches de tendances, des différences de préférences ont été mises en évidence entre les trois pays France, Angleterre et Espagne. Dans le cadre de cette évaluation, nous avons intégré la dimension axiologique dont l'impact a pu être confirmé lors de l'évaluation. Par l'analyse de régressions, nous avons vérifié la prédictivité des valeurs auxquelles adhèrent les consommateurs vis-à-vis des préférences et de l'évaluation émotionnelle [Ri1]: il a été démontré lors de l'analyse que les valeurs auxquelles adhèrent les répondants auront une influence sur leurs réactions émotionnelles face aux planches de tendances. Celles-ci se sont montrées à la fois communes et spécifiques en fonction du pays d'origine. Des différences notables ont été relevées entre les répondants des différents pays: France, Espagne, et Angleterre.

9 Cyborg 	Purity Honesty (-) Independent (-)	Enthusiastic	0,004 0,013 0,007	
	Imaginative (-) Independent (-) Intellectual	Inspired	0,031 0,000 0,012	
	Serious (-) Purity Honesty (-) Imaginative (-) Independent (-) Intellectual	Stimulated	0,032 0,005 0,022 0,006 0,001 0,015	
	Purity Independent (-)	Touched	0,011 0,019	
	Capable (-) Cheerful (-)	Puzzled		0,040 0,026

P<0,05

Figure 77: Règles Kansei amont : Prédicativité valeurs-réaction émotionnelle [Ri7]

Nous avons pu vérifier des variations sensibles au niveau de la signification du vocabulaire entre les pays, mais aussi entre les designers et les consommateurs. Les résultats concernant les valeurs peuvent permettre de produire des règles design qui relient les valeurs aux tendances. Dans le cadre d'un dispositif d'ingénierie Kansei, des harmonies visuelles appropriées peuvent être extraites à partir des planches de tendances et mises en correspondance directement en fonctions des valeurs des consommateurs. Ces harmonies peuvent alors être intégrées dans la génération de nouvelles solutions. Afin d'établir les règles design, nous avons validé l'intérêt d'une nouvelle méthode, sur la base d'annotations manuelles fournies par un panel de 6 designers experts. L'utilisation d'algorithmes de clustering hiérarchique agglomératif pour traiter ces données s'est avérée pertinente. Cette méthode a donné lieu à de nouveaux formalismes.

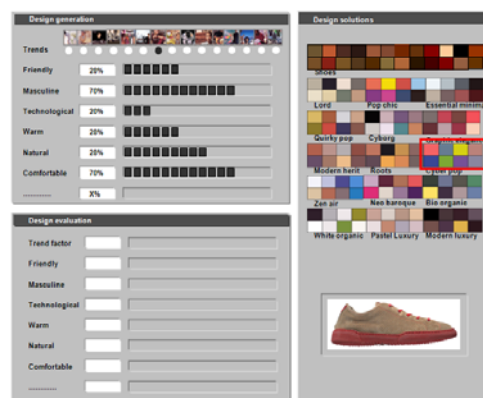


Figure 78: Système d'ingénierie Kansei, projet KENSYS. [Article].

• Vers de nouveaux formalismes

Dans le cadre du projet KENSYS, nous avons exploré de nouvelles manières de définir des règles design en utilisant des algorithmes issus de l'IA [Ci19]. Nous avons mené une expérimentation dans le secteur de la chaussure avec les designers de la société Dièdre design, afin de définir des règles expertes. Ces règles ont porté sur les processus de catégorisation implicites des designers. Il s'est agi de faire relier des descripteurs sémantiques avec d'autres descripteurs sémantiques ou avec des attributs formels bas-niveau. Nous avons fait l'hypothèse que les algorithmes de clustering hiérarchique⁹ [Rasmussen, 1992, Gordon, 1999, Kojadinovic, 2004] qui sont

⁹ L'algorithme de clustering hiérarchique tend à isoler les termes selon une règle simple: les objets appartenant à un groupe peuvent être considérés comme similaires, et les objets qui appartiennent à deux groupes différents peuvent être considérés

utilisés en apprentissage automatique [Mitchell, 1996] pourraient répondre en partie à notre besoin car ils semblent se rapprocher dans leur fonctionnement des processus cognitifs mis en œuvre naturellement par les designers. L'argument majeur pour avoir choisi ce type d'algorithme est leur caractère très intuitif comparativement à l'activité naturelle des concepteurs où la catégorisation est une phase clé. Les données ayant été recueillies de manière ouverte, il en résulte une information floue, peu structurée et éparse. Il se trouve que ce type d'algorithme répond très bien au traitement de données de cette nature [Ci19]. D'autant plus que la pertinence des données et règles exprimées par les designers n'est pas forcément liée au nombre d'occurrences des données et règles. Malgré que l'information soit clairsemée, elle peut être très informative et très pertinente pour construire des règles. Notre approche s'est basée sur un panel restreint de 6 experts supposé être suffisant pour déduire des règles. Nous avons recueilli les termes utilisés par ces designers pour décrire des modèles de chaussures dans le processus de design amont (descripteurs sémantiques et éléments design). Le protocole expérimental a comporté trois phases :

1. *Recueil des données*: à partir d'interviews semi-directifs, les designers ont du exprimer des synonymes à partir de concepts sémantiques, puis associer des formes, couleurs et textures à ces concepts et expliciter des règles d'association. Les informations design ont constitué une sorte de dictionnaire comprenant des termes sémantiques, des formes, couleurs, ou textures et explicitant leur correspondance. La liste des mots a été réduite de 300 mots à 70, en conservant les mots ayant réuni les nombres d'occurrences les plus élevés.
2. *Extraction des règles* : application d'un algorithme de clustering hiérarchique ;
3. *Traitement des résultats* : discussion sur la portée potentielle des résultats en conception amont.

L'extraction des règles a nécessité de synthétiser les données recueillies sous forme de tableau avec dans la première colonne les descripteurs sémantiques, dans la deuxième les synonymes ou descripteurs sémantiquement proches (sacs de mots), et dans les autres des caractéristiques de forme, couleur et texture. On observe alors des co-occurrences de certains termes qui apparaissent en commun entre des sacs de mots différents, et c'est bien cette information que nous avons cherché à extraire. En effet le fait que des termes identiques apparaissent entre différents concepts signifie qu'ils sont corrélés et qu'il y a derrière des règles design ou des règles sémantiques. Les règles ont été extraites en appliquant un algorithme de clustering.

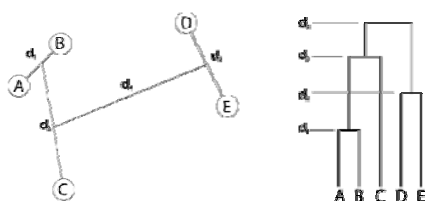


Figure 79: Principe du clustering hiérarchique agglomératif (dendrogram) [Ci19]

Le traitement des résultats s'opère par l'agglomération itérative de proche en proche des éléments pour les fusionner au sein d'un groupe. Une routine se met en place de manière à ce que l'itération se répète jusqu'à traiter toutes les paires d'éléments sachant les éléments fusionnés deviennent un élément en soi. Le dendrogramme (figure 81) montre l'intensité de l'association. Afin d'appliquer l'algorithme de calcul aux données, il a d'abord été nécessaire de les exprimer selon un format spécifique car dans leur forme primaire elles ne pouvaient pas être exploitées. Nous avons du transformer les sacs de mots dont la structure est aléatoire et irrégulière en vecteurs afin de pouvoir appliquer l'implémentation de l'algorithme de clustering hiérarchique. Nous avons établi une matrice carrée avec comme première colonne les termes du

comme dissimilaires. Cet algorithme particulier met en oeuvre un processus simple d'associations qui d'aboutit à un arbre de termes, où les extrémités sont les adjectifs sémantiques ou les éléments design et les branches sont leurs associations, plus ou moins importantes selon le degré de similarité des termes.

dictionnaire et comme première ligne les concepts. Le nombre d'occurrences de chaque terme pour chaque concept a été reporté dans chacune des cellules de la matrice de fréquence des termes. Nous avons ainsi pu établir des corrélations entre les *sacs de mots* vis à vis des concepts et des termes: si deux termes apparaissent dans le même sac, cela signifie qu'ils sont reliés par une règle design, tout comme si deux concepts contiennent des termes identiques. En respectant ce formalisme il a ainsi été possible d'appliquer l'algorithme avec des paramètres de mesures d'intersections pour les *mesures de distances*. Ce choix permet de prendre en compte le nombre commun de termes associés et leur fréquence d'apparition. L'intersection grandit lorsque de nombreux termes sont trouvés en commun entre les adjectifs sémantiques et les éléments design, et lorsque ces termes tendent à apparaître plusieurs fois.

Concernant la *stratégie de fusion*, nous avons choisi de considérer une relation simple là où les termes étaient reliés à d'autres termes, et la distance entre les groupes a été considérée comme la distance minimale entre deux de leurs points. Cette stratégie a été choisie en raison de la faible connectivité des termes recueillis: peu de termes communs ont été repertoriés dans les données recueillies. Donc en fusionnant les points un à un et en réalisant une aggrégation point par point, les mots ont adouci les limites entre les groupes et nous avons pu observer plus de correspondances entre les points. En appliquant l'algorithme AHC à la matrice des fréquences obtenue, nous avons obtenu des relations entre les termes.

Le premier type de résultats qui nous a intéressés est le clustering des adjectifs sémantiques (concepts) sous la forme d'un arbre (dendrogramme) qui nous permet de rassembler les concepts qui ont un sens ou une valeur similaire. Nous pouvons ainsi relever des associations entre les adjectives sémantiques.

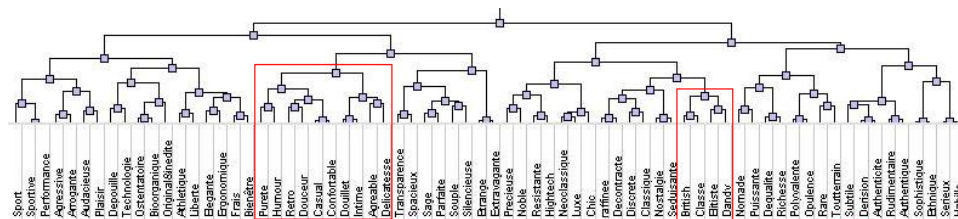


Figure 80: Clustering des adjectifs

Le second type de résultats obtenus est un arbre qui regroupe les éléments design (couleurs, formes, textures, matières) et qui ne peut être interprété qu'avec le dendrogramme précédent.

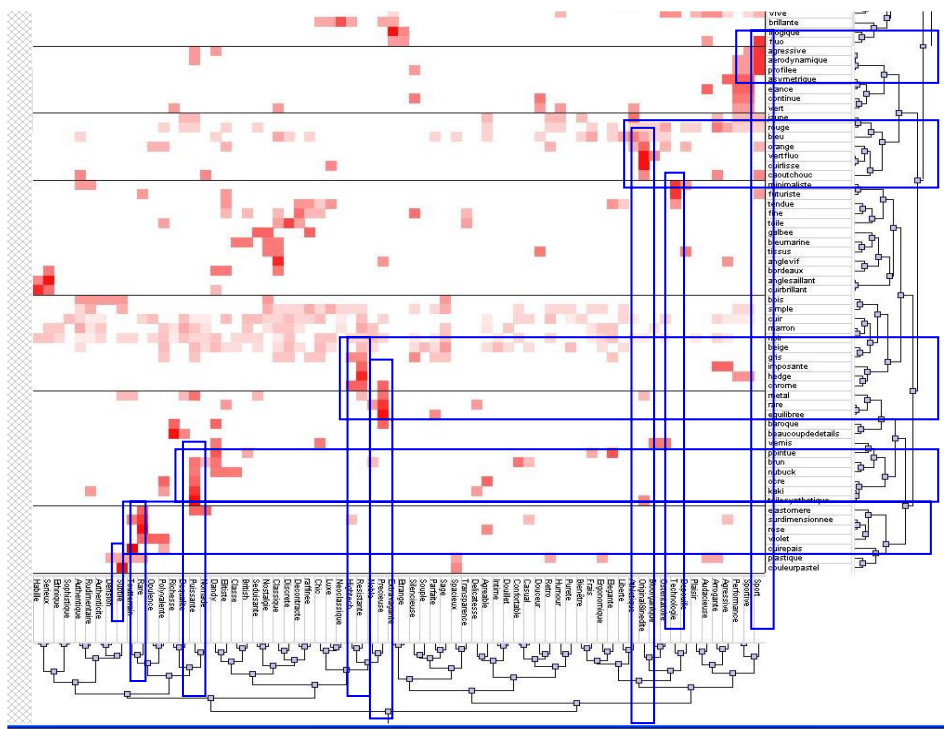


Figure 81: Clustering hiérarchique agglomératif (AHC) pour la mise en évidence de règles design

Ces résultats sont prometteurs et montrent que le clustering agglomératif présente un intérêt fort dans le cadre de la formalisation des activités de catégorisation des designers, de manière suffisamment ouverte et flexible pour ne pas perdre le point de vue expert et sans recourir à un grand nombre de sujets. Cet outil issu de l'IA peut être utilisé sans contraindre les designers avec des protocoles artificiels. La proximité des termes dans cette matrice à structure arborescente est significative et montre les associations entre les concepts et les éléments design. On observe ainsi des zones d'association des termes qui peuvent être des termes sémantiques reliés à des éléments design. Dans ce cas il devient possible de formuler des règles design. Par exemple, le concept *sport* a été associé aux termes : *fluorescent*, *agressif*, *aérodynamique*, *stylé* et *assymétrique*. Le concept d'originalité a été associé avec des couleurs inhabituelles dans le secteur de la chaussure comme vert ou orange fluorescent. L'applicabilité de l'outil vient du vocabulaire généré qui s'applique dans un seul secteur.

Apports technologiques

L'apport concret du projet Kensys est un logiciel (Kn6) qui prend en compte dans ses BDD des éléments liés à d'autres secteurs que le secteur de référence (automobile, mode, ...). D'autre part cet outil intègre des algorithmes résultant d'analyses statistiques à partir d'évaluations à la fois sémantiques et émotionnelles. Cet outil nous a permis d'obtenir une convergence optimale orientée produit puisque l'on peut mieux comprendre les évaluations des produits par les consommateurs mais aussi prendre en compte les résultats de ces évaluations pour les traduire en éléments de conception.

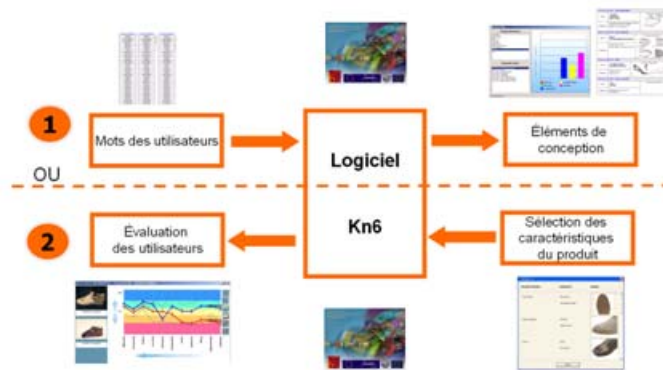


Figure 82: Principe du logiciel Kn6.

- **Mise en relation de l'ingénierie Kansei avec les phases aval [Ci2, Ci3, Ci9, Ci10]**

Depuis 2008, nous avons entrepris une recherche en collaboration avec le laboratoire G-SCOP de l'INPG de Grenoble sur la mise en relation de l'approche Kansei avec l'ingénierie produit-process. Le secteur d'application est celui de la maroquinerie Thaïlandaise et porte en particulier sur la conception et le développement de produits de la mode tels que sacs ou chaussures. Dans ce cadre, nous avons entamé une recherche qui vise à formaliser la relation entre la dimension kansei du design et les données produit-process qui interviennent plus en aval, de manière à nous orienter vers une chaîne numérique complète.

4.7 Conclusion

Les recherches en sciences de la conception sont fortement orientées par des évolutions industrielles qui visent à proposer une plus grande variété de solutions, une meilleure adaptation au besoin des utilisateurs finaux et une réduction des délais de conception. Durant ces dix dernières années, nous avons peu à peu formalisé le premier cycle informationnel qui intervient en conception amont, et qui reste encore relativement implicite dans le domaine de la conception industrielle. Afin de modéliser ce cycle, nous l'avons divisé en quatre types d'activités qui interviennent en conception : informationnelles, génératives, d'évaluation orientée vers la décision et de matérialisation. La phase d'information a été formalisée dans le cadre de l'élaboration et de l'expérimentation de la méthode ATC. La phase d'évaluation a pu être appréhendée dans le cadre des projets CHIPS et TVi. La phase de génération individuelle de concepts à travers la génération d'esquisses a quant à elle été investiguée durant la thèse initiale puis dans le cadre du projet GENIUS.

La formalisation progressive de ces différentes phases nous a peu à peu amenés à une compréhension globale du processus de conception. Cette appréhension globale nous a permis de découvrir l'intérêt de pouvoir rapprocher ces phases dans le temps ou dans l'espace, et d'explorer de nouveaux liens rendus possibles par la computation. Cette vision d'ensemble nous a aussi permis d'entrevoir des étapes routinières lors desquelles l'ordinateur peut contribuer à améliorer certaines tâches en terme de quantité d'information traitée et de rapidité d'exécution. Cependant il est fondamental de préserver les aspects hédoniques de l'activité, en proposant des outils conviviaux, ludiques et attractifs pour les designers dans des phases qui pouvaient s'avérer fastidieuses ou limitées.

Notre recherche a donc évolué vers une computation de la phase d'évaluation dans le cadre du projet KENSYS, de la phase d'information dans le cadre du projet TRENDS, et

de la phase de génération dans le cadre du projet GENIUS. La formalisation globale du processus de conception amont et l'investigation des possibilités de numérisation en conception nous ont permis d'identifier des règles et routines pour l'ensemble des phases d'information, génération, évaluation et matérialisation. Nous avons établi un premier lien réciproque entre les phases d'évaluation et celle de génération. Les perspectives sont nombreuses, jusqu'à l'aboutissement à un méta-modèle computationnel du cycle initial. Ce méta-modèle computationnel proposera une organisation enchevêtrée des phases informationnelle, générationnelle, d'évaluation-décision et de matérialisation et appellera de nouvelles activités, de nouvelles règles, de nouveaux modèles de connaissances, et une nouvelle articulation entre l'individuel et le collectif, entre le numérique et le physique...

La phase amont du processus de conception met en œuvre un processus complexe du fait du caractère peu défini et imprécis de cette phase, mais aussi de la subjectivité et de l'affectivité, du caractère multi-métier, individuel ou collectif relatifs à cette phase. Nous avons identifié les verrous relatifs à la formalisation et à la computation des routines et règles. Dans les phases d'évaluation la computation s'appuie encore essentiellement sur des approches statistiques alors que nous pensons que les outils d'avenir sont plus une combinaison de ces approches avec d'autres types d'algorithmes du domaine de l'apprentissage automatique. Nous avons aussi répondu à une problématique de traitement semi-automatique de la phase d'information, grâce à des modèles d'ontologies, de sacs de mots et des approches basées sur des algorithmes de clustering. Nous sommes actuellement en train de définir des voies pour rendre semi-automatiques les phases génératives sur la base d'algorithmes de clustering **[Ci4]**. Le domaine de l'ingénierie Kansei est un domaine scientifique prometteur qui continuera à guider en partie notre recherche.

Perspectives

Formalisation et computation du processus
de conception amont

5

Dans le cadre de ma recherche antérieure, j'ai travaillé sur la modélisation et la numérisation des processus informationnels amont en élaborant des modèles et en contribuant au développement de systèmes computationnels qui couvrent indépendamment les phases d'information, de génération et d'évaluation. Des premières relations ont été établies entre les phases de génération et d'évaluation dans le cadre du projet KENSYS, puis entre les phases d'information et de génération dans le cadre des projets TRENDS et GENIUS. Les modèles antérieurs étaient particulièrement centrés sur les activités des designers ou des ergonomes. Ils ont été enrichis grâce à la création et à l'intégration de méthodes et outils issus des disciplines et thématiques de l'ingénierie Kansei, de l'IA, de l'ergonomie cognitive et de la créativité appliquée en contexte de conception concourante. Les modèles d'ingénierie Kansei ont permis d'entamer une réflexion sur les liens cognitifs, affectifs et computationnels qui peuvent exister entre les phases d'évaluation et de génération.

La finalité de notre recherche est de définir de nouveaux systèmes d'AAC visant à optimiser le processus. Il s'agit de proposer de nouveaux modèles orientés vers une conception concourante, une réduction des délais de conception, une plus grande variabilité des solutions proposées et surtout une meilleure adéquation vis à vis des besoins latents ou exprimés des consommateurs ou utilisateurs. Nous souhaitons approfondir notre recherche sur la modélisation des processus cognitif et affectif en conception amont, et sur l'élaboration de formalismes et le choix d'algorithmes en vue de sa computation. Nous continuerons de formaliser et de définir le lien qui peut exister entre les besoins profonds des concepteurs et les nouvelles technologies qui se présentent, afin de développer des outils inédits et capables d'améliorer l'interaction du point de vue du Kansei. Cela ne peut se faire qu'en conservant une ouverture permanente sur les disciplines de la psychologie cognitive et de l'IA, en continuant de tester des méthodes récentes d'évaluation, d'extraction de connaissances et d'analyse des traces, ainsi que de nouveaux algorithmes vis-à-vis de tâches de conception dont la liste à explorer reste encore longue. La création de nouveaux modèles s'appuiera non seulement sur l'intégration de données jusqu'alors implicites, mais aussi sur le fait d'associer les modèles existants en méta-modèles. Ces nouvelles données seront enrichies grâce à l'apport de disciplines encore relativement absentes de la recherche en conception: la sociologie et les neurosciences. Une analyse toujours plus fine de l'interaction et de la réponse physiologique face à des stimuli de RI spécifiques nous aidera à aller plus loin dans la formalisation de processus implicites. D'autre part, notre recherche portera sur la mise en relation des dits méta-modèles avec d'autres modèles développés en conception aval. En effet, nous souhaitons optimiser le processus dans sa globalité. Il est donc important de reconsidérer ce processus en établissant les liens entre les modèles actuels et des modèles de type produit-process. En conclusion, mes objectifs de recherche pour les années sont les suivants :

- 1/ Consolider, enrichir et intégrer les modèles existants en méta-modèles,

- 2/ Créer et intégrer de nouveaux modèles en conception amont,
- 3/ Etablir un lien entre ces modèles et des modèles aval.

Concrètement, le passage progressif vers un méta-modèle nous amènera à moyen terme à rassembler les fonctions informationnelles, génératives, d'évaluation et de matérialisation au sein d'un espace numérique unique, qui se transformera à plus long terme en un espace immersif de RV en passant par des étapes intermédiaires de réalité augmentée et de maturation des technologies et des méthodes relatives à la RV vis-à-vis des dimensions du Kansei (voir figure 83).

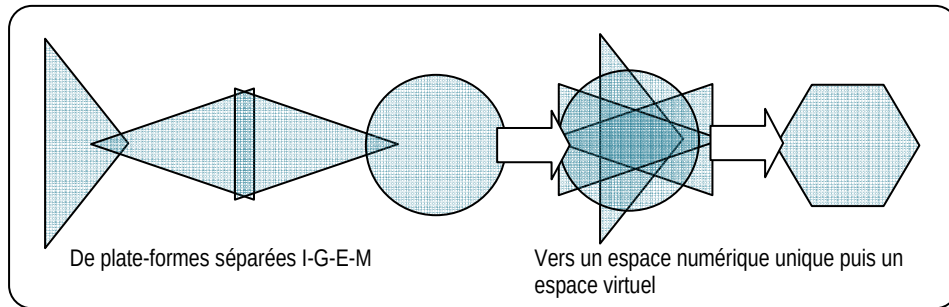


Figure 83: Vers un espace numérique unique de conception, puis un espace virtuel

D'un point de vue théorique, la convergence des fonctions informationnelle, générative, d'évaluation et de matérialisation au sein d'un même espace numérique nous permettra d'explorer de nouvelles relations entre ces fonctions avec une notion nouvelle de traitement et de restitution en *temps réel*. Sur la figure 84, les flèches en vert montrent les relations pouvant être mises en œuvre automatiquement par le futur système de conception, dont certaines ont déjà été explorées dans le cadre de nos recherches antérieures comme *l'évaluation en temps réel*, et d'autres restent à explorer comme *l'utilisation directe de données informationnelles pour la génération*, *le prototypage automatique de modèles 3D non dimensionnels à partir de données 2D* ou *d'infosculpture*, *la récupération instantanée de données physiques 3D*, *la modélisation automatique de formes 3D en réglant des paramètres d'évaluation*, *l'évaluation instantanée et automatique d'un modèle physique ...*).

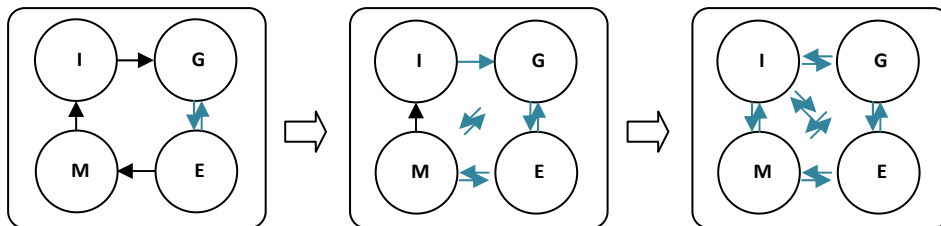


Figure 84: Méta-modèle Kansei, convergence des fonctions informationnelle, générative, d'évaluation et de matérialisation

Nous avons veillé lors de nos recherches à ne pas altérer l'activité des concepteurs, en particulier concernant la créativité, les phases hédoniques et les fonctionnements naturels humains. Les futurs systèmes en environnements numérique ou immersif étant susceptibles d'engendrer de nouveaux comportements de la part des concepteurs, l'évaluation portera non seulement sur les RI elles-mêmes, mais aussi sur des aspects concernant l'activité des concepteurs.

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1: Historique de la recherche thématique: « Modélisation et numérisation des processus informationnels en conception amont - Processus cognitifs design - Ingénierie Kansei »	6
Figure 2: Organisation de la recherche thématique: « Modélisation et numérisation des processus informationnels en conception amont - Processus cognitifs design - Ingénierie Kansei »	8
Figure 3: Positionnement scientifique	9
Figure 4: Modèle du processus de conception [Ulrich, 2000]	12
Figure 5: Phases amont de la conception	12
Figure 6: Champ d'observation cognitive (adapté de Rasmussen, 1983)	16
Figure 7: Dimensions traitées et perçues en design automobile, modalités de la réponse formelle.....	17
Figure 8: Processus de design automobile.....	18
Figure 9: Modèle informationnel du processus de conception amont (design)	21
Figure 10: Modèle du processus de conception de la forme (style automobile)	22
Figure 11: Modèle informationnel du processus de conception amont (design)	27
Figure 12: Modélisation du processus de conception amont (design),	27
Figure 13: Le processus de design, une succession de cycles de matérialisation	28
Figure 14: Formalisation de la phase d'information.....	29
Figure 15: Modèle théorique de formalisation de la phase d'information	29
Figure 16: Modèle computationnel de la phase d'information.....	30
Figure 17: Formalisation de la phase de génération	31
Figure 18: Processus optimisé de créativité appliquée en conception	32
Figure 19: Formalisation de la phase d'évaluation.....	33
Figure 20: Modèle théorique de la phase d'information	34
Figure 21: Méthode de recherche	36
Figure 22: Méta-modèle d'ingénierie Kansei.....	36
Figure 23: Formalisation de la phase d'information.....	46
Figure 24: Les représentations de l'ATC.....	47
Figure 25: Méthode d'Analyse de Tendances Conjointe (ATC)	48
Figure 26: RI de l'ATC : Mapping sémantique (à gauche) et Planches de tendances (à droite)	49
Figure 27: Le domaine du Kansei.....	49
Figure 28: Niveaux d'abstraction de l'information [Ci18].....	50
Figure 29: Catégorie Pop [Rc4].....	51
Figure 30: computation de la phase d'information	52
Figure 31: Gap sémantique [Ferecatu & al, 2005].	53
Figure 32: Extraction de connaissances par annotation manuelle [Ci24].	54
Figure 33: Exemples de sacs de mots : puissant et agressif [Ci25, Ci26].	55
Figure 34: Formalismes dédié aux technologies de traitement de l'image.....	56
Figure 35: Prototype TRENDS.	57
Figure 36: Nombre d'images sélectionnées suivant le type de sources	61
Figure 37: Nombre d'images sélectionnées suivant le niveau d'abstraction	61
Figure 38: Résultats des évaluations des esquisses en fonction du secteur d'origine des.....	62
Figure 39: Modèle de la phase d'exploration en conception de produits	63
Figure 40: Formalisation de la phase générative.....	64
Figure 41: Les 4 phases du processus de créativité appliquée [REF EACI]	67
Figure 42: Matérialisation précoce des concepts de solutions innovantes en imagerie de synthèse	69
Figure 43: Processus opérationnel d'Analyse de la Demande (AD).....	71
Figure 44: Tableau de bord Contract Créativité.....	71
Figure 45: Processus opérationnel de Déploiement des Idées (DI)	72
Figure 46: Computation de la phase générative	73
Figure 47: Matérialisation graphique [Ri3]	74
Figure 48: Processus de génération de la bonne forme [Ri3].....	77
Figure 49: Opérations cognitives engagées lors de la session	77
Figure 50: Phase d'émergence, entre la categorization mentale et la génération [Ci15]	79
Figure 51: Modèle de traitement de l'information	80
Figure 52: Copies d'écran, codage avec INTERACT.....	81
Figure 53: Cartographie de categorisation d'idées, Designer 5.....	82
Figure 54: Pourcentage d'occurrences pour chaque niveau d'information design	82
Figure 55: Pourcentage d'occurrence des catégories	83
Figure 56: Formalisation de la phase d'évaluation.....	85
Figure 57: Cartographie et hiérarchisation des libellés et icônes représentant les services de la future TVi	87
Figure 58: Interface de la future TVi.....	87

Figure 59: Séquence d'écran illustrant la navigation pour le service « Films à la demande »	88
Figure 60: Evolution du Mapping d'Influence d'Usage au cours du projet	91
Figure 61: Modèle du processus de conception centrée utilisateur dédié aux ANEGP.....	93
Figure 62: Echelles de Lang [Lang, 1997] in [T5]	96
Figure 63: Positionnement des 3 expérimentations dans le processus.	97
Figure 64: Expérimentation 1 : Résultats des ACP Sémantique et émotions.....	98
Figure 65: Expérimentation 2 : Résultats des ACP sémantique et émotions par rapport aux produits.....	99
Figure 66: Expérimentation 2 : Résultats des ACP sémantique et émotions par rapport aux planches de tendances.....	99
Figure 67: Positionnement du nouveau prototype en fonction des descripteurs sémantiques et émotionnels	100
Figure 68: Computation de la phase d'évaluation	103
Figure 69: Formalisation du processus de matérialisation	105
Figure 70: Evolution des RI au cours de la conception amont [Ri6].....	106
Figure 71: Exemples de planches construites selon le même protocole que les planches testées.....	108
Figure 72: Approche créative, projet Chassis modulaire [Rc20].....	110
Figure 73: Exemple de planche-concepts.	111
Figure 74: Description d'un cycle de matérialisation en Ingénierie Kansei	114
Figure 75: Kansei et Design émotionnel, un rapprochement orient-occident, un rapprochement des disciplines	114
Figure 76: Revised Kansei System [Ri7]	116
Figure 77: Règles Kansei amont : Prédicativité valeurs-réaction émotionnelle [Ri7]	117
Figure 78: Système d'ingénierie Kansei, projet KENSYS. [Article].	117
Figure 79: Principe du clustering hiérarchique agglomératif (dendrogram) [Ci19]	118
Figure 80: Clustering des adjectifs.....	119
Figure 81: Clustering hiérarchique agglomératif (AHC) pour la mise en évidence de règles design	120
Figure 82: Principe du logiciel Kn6.....	121
Figure 83: Vers un espace numérique unique de conception, puis un espace virtuel	124
Figure 84: Méta-modèle Kansei, convergence des fonctions.....	124
 Tableau 1: Secteurs d'influence des designers automobiles [T1].....	19
Tableau 2: Secteurs d'influence des designers automobiles (70% sources similaires) [T1, Ci2, Ci18, Ci20]	54
Tableau 3: Niveaux d'abstraction et information design [Ci7, Ci18, Rc3 D2.3].....	55
Tableau 4: Ontologie Kansei [Ci25, Ci26].	55
Tableau 5: Principaux outils de créativité appliquée en conception.	67
Tableau 6: Les techniques de créativité, approches et outils.....	68
Tableau 7: Eléments design qui influencent la perception de manière significative, secteur de la chaussure.	104
Tableau 8: Tableau de synthèse des RI visio-graphiques produites lors de la session complète en créativité	110

REFERENCES

1. AGRAWAL R, IMIELINSKI T, SWANI A, (1993). Mining association rules between sets of items in large databases, SIGMOD conference, pages 207-216.
2. ALTSHULLER, G.S. (2004), Principes d'innovation TRIZ, Traduction et édition Avraam Seredinski, ISBN 2-9521394-0-7.
3. ALVAREZ HR, ALVAREZ H, (2007). Measure emotional drivers in brand, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, KEER, Sapporo, 2007. AKIN, Ö. (1978) How do architects design ? In Artificial Intelligence and Pattern Recognition in Computer Aided Design. IFIP : North-Holland Publishing Company.
4. ALBERTI P., DEJEAN P. H., CAYOL A., (2007). How to assist and capitalise on a creativity approach: a creativity model, CoDesign International Journal of CoCreation in Design and the Arts, Volume 3 Supplement 1, Affective Communications in Design Challenges for Researchers, Pages 35 – 44 ISSN: 1571-0882.
5. AMABILE, T.M. (1996). Creativity in context. Westview Press.
6. AMABILE T. (1983). The Social Psychology of Creativity, Springer Verlag. NY.
7. ANDERSON J.A., PHILIPS P.R., (1981). Regression, discrimination and measurement models for ordered categorical variables, Applied statistics, 30, 1, 22-31.
8. ANDREASEN, M. M. and HEIN, L. (1987). Integrated Product Development. IFS (Publications) Ltd.
9. ANDREANI, J. C. (2002). Les Techniques d'enquêtes expérimentelles: vers une nouvelle génération de méthodologies qualitatives. Revue Française du Marketing.
10. ANOLLI L., ANTONIETTI A., CRISAFULLI L., CANTOIA M. (2001). Accessing source information in analogical problem-solving. *The Quarterly journal of experimental psychology. A*, Human experimental psychology 2001;54(1):237-61.
11. ANSBURG PI, HILL K (2003). Creative and analytic thinkers differ in their use of attentional resources, PAID, Vol 34, Issue 7.
12. AOUSSAT A. (1990) La pertinence en innovation: nécessité d'une approche plurielle. Thèse ENSAM (Génie industriel).
13. ATHAVANKAR A., (2008). Form as a Visual Encounter: Using Eye Movement Studies for Design Reasoning, Design Computing and Cognition, Atlanta.
14. ATKINSON, R. C., & SHIFFRIN, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225, 82–90
15. AURIFEUILLE J.M., (1991). Détermination des principaux chaînages cognitifs d'une population en fonction de leur cohérence sémantique, Papier de Recherche.
16. AVENIER M. J., (1995). Une nouvelle formulation de la problématique du pilotage d'organisations sociales, stimulée et rendue opérationnalisable par les nouvelles technologies de l'information, Note de recherche.
17. BALAYOU, J.L. and VOLATIER, (1995). Logiciel De Visu.
18. BARTHES J.-P. A., (1997)., Capitalisation des connaissances et intelligence artificielle, CNRS UMR HEUDIASYC, Université de Technologie de Compiègne, Article préparé pour les Journées Franco Finlandaises de Tampere 9-10 juin 1997.
19. BATIER L. (1999). Conception d'un système de vision virtuelle pour assistance chirurgicale, Mémoire de DEA ENSAM.
20. BAXTER M. R. (1995). Product design, a practical guide to systematic methods of new product development, London, New York : Chapman & Hall, 1995. - 308p.
21. BEAUME R., MANIAK R., MIDLER C., (2008). Crossing innovation and product projects management: A comparative analysis in the automotive industry, *International Journal of Project Management*, In Press, Corrected Proof, Available online 21 October 2008.
22. BENNET A., (2002). *Dynamic interactive aesthetics*, The Journal of Design Research, Issue 2.
23. BERNARD A., FISHER A. (2002). CIRP Keynote, New trends in rapid product development, *Annals of CIRP*, 51 (2), 635-652.
24. BERTHON J.-F. (2000). *La Recherche-Action : Mode et méthode spécifique de la recherche en sciences humaines ; sa pertinence dans le domaine de la formation et de l'éducation*, document électronique.
25. BERTHOUE N., BERTHOUE L. (2001). Exploring Kansei in Multimedia Information. *Kansei Engineering International* 2(2), 1-10
26. BERTHOUE N., HAYASHI T. (2003). Mining Multimedia and Complex Data. in Zaiane, O., Simoff, S.J., Djeraba, C. (ed.) *Subjective Interpretation of Complex Data: Requirements for Supporting Kansei Mining Process*. Lecture Notes in Computer Science series. Springer-Verlag, 2797th edition, 1-17. ISBN: 3-540-20305-2
27. BEU A. & al. (1998). Multimedia User Interfaces For Interactive Systems and TV (ACTS Project AC010): D 20: Final Online Style Guide.
28. BOCQUET J.-C. (1998). *Ingénierie simultanée, conception intégrée*, Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils, sous la direction de M. Tollenaere, Editions Hermès, p. 29-52.
29. BOCQUET J. C., (1996). Product/manufacture a systemic approach for simultaneous engineering, *Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Première Conférence Internationale sur la Conception et la Fabrication Intégrées en Mécanique, Nantes.

30. BOCQUET J.C., (2002). Maîtrise des processus et organisation, Centrale Paris, revue des Arts et métiers.
31. BOEHM, B. (1988). A spiral model of software development and enhancement. IEEE Computer, May, 61-72.
32. BIRTLEY N., (1996). Rapport interne de recherche, Université de Coventry.
33. BISSERET A., FIGEAC-LETANG C., FALZON P. (1988) Modeling opportunistic reasonings : the cognitive activity of traffic signal setting technicians. Rapport de recherche INRIA n° 893. Rocquencourt.
34. BISSERET A., SEBILLOTTE S., FALZON P. (1999) Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes. Octares Editions.
35. BIANCHI-BERTHOUE, N. & KLEINSMITH, A. (2003). A categorical approach to affective gesture recognition, Connection Science, 15, 259-269.
36. BIANCHI BERTHOUE N, HAYASHI T, (2002). Subjective interpretation of complex data : requirements for supporting kansei mining process, Int. Workshop on multimedia Data Mining, MDM'02, ACM-SIG KDD.
37. BILDA, Z (2006) The role of mental imagery in conceptual designing. Ph.D Thesis.
38. BILDA Z. and GERO J.S. (2007) The impact of working memory limitations on the design process during conceptualization. Design Studies 28(4): 343-367.
39. BLACK JA, KAHOL KANAV JR, PRIYAMVADA T, KUCHI P, PANCHANATHAN S, (2004). Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI. Edited by Woods, Andrew J., Merritt, John O.; Benton, Stephen A.; Bolas, Mark T. Proceedings of the SPIE, Volume 5292, pp. 363-375.
40. BLESSING, L. T. M. (1994). A process-based approach to computer-supported engineering design. Enschede: Universiteit Twente.
41. BONNARDEL N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. Knowledge-Based Systems 13(7-8): 505-513.
42. BONNARDEL N. (2006). Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques, Solal Editions (Marseille).
43. BONNARDEL N. AND MARMECHE E. (2005). Towards supporting evocation processes in creative design: A cognitive approach. Int. J. Human-Computer Studies 63(4-5): 422-435.
44. BONNARDEL N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment, Knowledge-Based Systems, 13, 505-513.
45. BOUJUT J-F., JEANTET A., Les entités de coopération dans les nouvelles organisations de la conception, Performances Humaines & Techniques, n° 96, Septembre-Octobre, p 38-44, 1998.
46. BOUJUT JF., TIGER H., (2002). A Socio-Technical Research Method for Analyzing and Instrumenting the Design Activity, *Journal of Design Research*, Vol. 2, No.2.
47. BOULLIER D. (1983). Autres outils, autres communications: trois études ethnosociologiques à propos des usages de la télématique en lieux publics, Lares, Rennes.
48. BOULLIER D. (1988). Connecter n'est pas instituer, nouvelles technologies de communication et autres dispositifs pousse-au jouer, Rennes, Université Rennes 2, 1988. 176p.
49. BOULLIER D. (1999). L'urbanité numérique, Paris, Montréal (Québec), L'Harmattan, 183p.
50. BRÉCHON., P. (2000). Les valeurs des Français, évolutions de 1980 à 2000, Paris, A. Colin : 2000., 280p.
51. BROADBENT, D.E. (1958). Perception and Communication. London: Pergamon.
52. BUCCIARELLI (1988). An ethnographic perspective on engineering design, *Design Studies*, 9, 3, pp 185-190.
53. BÜSHER M, FRIELAENDER V, HODGSON E, RANK S, SHAPIRO D (2004). Design on objects : imaginative practice, aesthetic categorisation, and the design of multimedia archiving support, Digital Creativity.
54. BÜSCHER M, MOGENSEN P, SHAPIRO D, WAGNER I (1999). *The Manufaktur - Supporting Work Practise in (Landscape) Architecture*.
55. BUZAN T. (2009). *The Mind Map Book*. Paperback Edition.
56. CAI H., DO E.YL., (2007) *The Dual Effects of Inspiration Sources in Design - An Empirical Study of Designer's use of Analogy in Design*, in IASDR, International Association of Societies of Design Research, Emerging Trends in Design Research, November 12-15, Hong Kong Polytechnic University School of Design.
57. CARROL J. M., MORAN T.P. (1991) Introduction to a special issue on Design Rationale, Human-Computer Interaction, vol 6, 197-200
58. CASAKIN H. & GOLDSCHMIDT G. (1999). Expertise and the use of visual analogy: implications for design education. Design
59. CASAKIN H., (2004). Visual Analogy as a Cognitive Strategy in the Design Process. Expert Versus Novice Performance, journal of Design Research, vol. 4 no. 2, p.
60. CASAKIN H. & KREITLER S. (2006). Evaluating creativity in design problem solving. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal. CHANDRASEKAN B. (1990) Design problem solving: a task analysis. A.I. Magazine, Winter, 59-74.
61. CASAKIN, H. (2007) Metaphors in Design Problem-Solving: Implications for Creativity. The International Journal of Design. Vol. 1, No 2, pp.23-35.
62. Studies 20(2): 153-175.
63. CCA INTERNATIONAL., (1999). Tendances sociales, tendances de mode - Etude exclusive de CCA International, 1998/1999.
64. CHAMMING'S L. (2001). Télévision et Internet: quelle convergence ?, Document de travail.
65. CHANG YC, CHUANG MC, SHEN SJ, CHU BS, HUNG SH, (2005). A study on style image of fashion design, International Design Congress.
66. CHEN C.-H., WENG M.-F., JENG, S.-K., CHUANG, Y.-Y., (2008). Emotion-based music visualization using photos. Proc. of the Advances in Multimedia Modeling (pp. 358-368). Springer.

67. CHI YL, PENG SY, YANG CC, (2007). Creating Kansei Engineering-Based ontology for annotating and archiving photos database, HCI International 2007, 12 th International Conference on Human Computer Interaction, Beijing.
68. CHIN, J.P., DIEHL, V.A., NORMAN, K.L. (1988). Development of an Instrument Measuring User Satisfaction of the Human-Computer Interface, ACM CHI'88 Proceedings, 213-218.
69. CHINCHOLLES D. (2001)., *Designing highly usable mobile services for small display devices*, Cours, IHMHCI Lille, le 10-14 septembre 2001, Lille.
70. CHIROWSKY P. (1993). User interface in conceptual generation design, Design Studies N°3, Vol.14.
71. CREDOC (2001). La diffusion, l'usage et l'acceptabilité des nouvelles technologies en France, Rapport N 214. CHRISTIAANS H. (1992) *Creativity in design: the role of domain knowledge in designing*. Ph.D. Thesis (Industrial Design).
72. CHRISTOFOL H., (1995). Thèse de Doctorat en Génie Industriel, Modélisation systémique du processus de conception de la coloration d'un produit, Octobre 1995.
73. CHUANG MC, CHANG CC, HSU SH. (2001), Perceptual factors underlying user preferences toward product form of mobile phones, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 27, Issue 4, Pages 247-258.
74. CHUL-MIN L, SUNG-WHAN C, SEUNG-KEUN K, GUI-YEONG Y, (2007). A study of the analysis on the jewelry preference and consumer's lifestyle elements, KEER, Sapporo.
75. CLANCEY M. (1994). The television audience examines, Journal of Advertising Research, Vol. 34, No. 4, special insert.
76. COLEY, F., HOUSEMAN, O. AND ROY, R. (2007) An introduction to capturing and understanding the cognitive behaviour of design engineers. In Journal of Engineering Design, pp 311-325.
77. CORDERO R., (1990). The Measurement of Innovation Performance in the Firm : An Overview. Research Policy, 19(2), 185-193.
78. COX G., (1995)., Cox review of creativity in business, building on the UK strengths, HM revenue and customs.
79. CROSS N., CHRISTIAANS H. and DORST K. (1996). Introduction: the Delft protocols workshop in analysing design activity. Chichester: Wiley., edited by Cross N., Christiaans, H., & Dorst, K.
80. CROSS N., (2000) Engineering design methods strategies for product design. Wiley, Chichester.
81. CROSS N. (2008). Engineering Design Methods: Strategies for Product Design (Paperback), Fourth Edition, Paperback.
82. CROSS, N., (2008) Designerly Ways of Knowing, Springer, ISBN: 978-1-84628-300-0.
83. CUNY X. & DERANSART P. (1971)., Elements de formalisation pour servir à l'analyse psychologique d'un travail de contrôle. Doc. Int. Du Labo. De Psych. Du Trav. De l'EPHE.
84. CURRAN S. (2002). Convergence Design: Creating the User Experience for Interactive Television Wireless and Broadband, Rockport Publishers.
85. DALY-JONES O. (2003). Tutorial: Usability Evaluation, Euro iTV conference, 02/04/2003, Brighton, UK.
86. DAMASIO, A. R. (1994). L'erreur de Descartes: la raison des émotions, Odile Jacob.
87. DATTA R., LI J., WANG J., Algorithmic inferencing of aesthetics and emotion in natural images : an exposition. IEEE Conf. on Image Processing, 2008.
88. DARSE F., FALZON, P., (1994). La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. *Séminaire du GDR CNRS FROG "Coopération et Conception"*, Toulouse, 1er-2 décembre 1994.
89. DARSE F. & FALZON P. (1996). La conception collective: une approche de l'ergonomie cognitive, in G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et Conception* p.123-135., Toulouse : Octarès.
90. DARSE F. (2001). Vocabulaire de l'ergonomie, sous la dir. De Maurice de Montmollin. 2e éd., Toulouse: Octares éd., 1997. 287p. Modéliser les Activités Coopératives de Conception (introduction des Actes du Colloque), Actes du 10e Atelier Humain, 27-28 juin 2001.
91. DAVICES, S.P. (1995). Effects of concurrent verbalization on design problem solving. Design Studies, vol. 16, pp 102-116.
92. DAVIS F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, Quarterly, 13:3, 319-340.
93. DE BONO E.. (1995). Mind power. New York: Dorling Kindersley.
94. DE BRUYNE P. J. HERMAN et DE SCHOUTHEETE, M. (1984). Dynamique de la recherche en sciences sociales, Vendôme, P.U.F. p. 231.
95. DELOZANNE E. (1997). Cours n° 3-4: Conception et Évaluation des interfaces personne-machine, <http://www-ic2.univlemans.fr/~deloz/dea-m3/cours3/sld001.htm>.
96. DESMET, P.M.A., & SCHIFFERSTEIN, H.N.J. (2010). Experience Driven Design techniques. Den Haag: Lemma (in print).
97. DESMET, P.M.A. (2008) Product Emotion. In: P. Hekkert, & H.N.J. Schifferstein (Eds.), Product experience (pp. 379V397). Amsterdam: Elsevier.
98. DESMET P.M.A. (2002) Designing Emotions ISBN: 90-9015877-4.
99. DIPOLA S., GABORA L., (2007), Incorporating Characteristics of Human Creativity into an Evolutionary Art Algorithm, Proc. Of GECCO'07, July 7–11, London, UK, pp. 2450-2456.
100. DIX, A., FINLAY, J., ABOWD, G., BEALE, R., (1993). Human-Computer Interaction, Prentice-Hall, 1st Edition.
101. DJAJADININGRAT T., MATTHEWS B., STIENSTRA M., Easy doesn't do it: skill and expression in tangible aesthetics, Personal and Ubiquitous Computing (2007) 11:657–676, DOI 10.1007/s00779-006-0137-9.
102. DO E.Y., GROSS M., NEIMAN B. and ZIMRING C. (2000) Intentions in and relations among design drawings. *Design Studies* 21(5): 483–503.
103. DONAGH D MC, GOGIN N, SQUIER J, (2005). Signs, symbols, and subjectivity: an alternative view of the visual", Computers and Composition

104. DONAGH D MC, DENTON H (2005). Exploring the degree to which individual students share a common perception of specific trend boards : observations relating to teaching, learning and team-based design, *Design Studies*, Vol 26, 35-53.
105. DORST K. and CROSS N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution. *Design Studies* 22(5): 425-437.
106. DORST, K., DIJKHUIS, J., (1995). Comparing paradigms for describing design activity, *Design Studies* vol. 16, no. 2, pp 261-274.
107. DORST K. (1995). Analysing design activity, new directions in protocol analysis, *Design Studies*, January Vol. 16 N.2, 1995.
108. DUBUISSON-QUELLIER S., (1995). La conception en design. Etude de la collaboration et de la communication dans la conception design des objets nouveaux", in Caelen, J. et Zreik, K. (dir.) : Le communicationnel pour concevoir, Paris, EuroPIA Productions.
109. DUCHAMP R. (1988). La conception de produits nouveaux, Technologies de pointe, Edition Hermès.
110. DURAND T., (2003). Apprentissage interindividuel et compétence organisationnelle, Workshop Connaissances, activité, organisation, Sous la direction de Philippe Iorino, Régine Teulier, Pontigny-Cerisy.
111. DZOGANG F. LESOT M.-J., RIFQI M. BOUCHON-MEUNIER B., (2010). Analysis of texts' emotional content in a multidimensional space. Proc. of KEER 2010.
112. EASTMAN C., M., (1969) Cognitive process and ill defined problems : a case study from design. Proceedings of the first Joint International Conference on I.A., Washington D.C., cité in GARRIGOU A., 1995.
113. EKMAN, P., FRIESEN, W. (1967). Head and body cues in the judgment of emotion: A reformulation. *Perceptual and Motor Skills*, 24:711-724.
114. EKMAN, P., FRIESEN, W. (1969). The repertoire of non-verbal behavioral categories: Origins, usage and coding. *Semiotica*, 1:49-98.
115. EKMAN, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition and Emotion*, 6 (3/4), 169-200.
116. EKMAN, P. & FRIESEN, W. V. (1978). Facial action coding system: A technique for the measurement of facial movement. Palo Alto, Calif.: Consulting Psychologists Press.
117. ECKERT C. and STACEY M. (1998). Fortune Favours Only the Prepared Mind: Why Sources of Inspiration are Essential for Continuing Creativity. *Creativity and Innovation Management* 7(1): 9-16.
118. ECKERT C. and STACEY M. (2000). Sources of inspiration: a language of design. *Design Studies* 21(5): 523-538.
119. EL-NASR M. S., YEN J., IOERGER T., (2000). Flame - fuzzy logic adaptive model of emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3, 219-257.
120. EL SHAFIE H., (2000). Computer applications in architecture: form generation tools, Thesis.
121. ERICSSON, K.A. & SIMON, H.A. (1993). Protocol Analysis: Verbal Reports as Data. MIT Press, Cambridge, MA.
122. FALZON P., BISSERET A., BONNARDEL N., DARSEZ F., DETIENNE F., VISSER W., (1990). Les activités de conception : l'approche de l'ergonomie cognitive, in *Actes du colloque "Recherches sur le design"*, Compiègne.
123. FALZON P. (1993). Médecin, pompier, concepteur: l'activité cognitive de l'ergonome, *Performances Humaines et Techniques*, sep.-oct. 1993, n°66, p35-45.
124. FALZON P. (1996). Des objectifs de l'ergonome, dans [Daniellou, 1996]
125. FALZON P. (1995) Les activités de conception: réflexions introductives, *Performances Humaines et Techniques*, Dossier L'activité des concepteurs, n°74, pp 7-11.
126. FALZON P. (1995) Activité cognitive du concepteur de signes. Les activités de conception : réflexions introductives. *Sciences humaines et techniques*, Janvier-Février 1995, n°74.
127. FERECATU M., BOUJEMAA N., (2005). Hybrid visual and conceptual image representation within active relevance feedback context, Proceedings of the 7th ACM SIGMM international workshop on Multimedia information retrieval, P209-216.
128. FINDELI A. & BOUSBACI R. (2005), «L'éclipse de l'objet dans les théories du projet en design», *The Design Journal*, volume. 8, issue 3, pp. 35-49
129. FINKE, R.Q., WARD, T. B., SMITH S M., 1992, Creative cognition-theory, research, and applications, MIT Press, Cambridge MA.
130. FOULON-MOLENDA, S. (2000). A-t-on besoin de se voir pour coopérer? Contribution théorique issue de la psycholinguistique. *Le Travail Humain*, 63, 97-120.
131. GATES B., (1996). The Road Ahead, 2nd edition, New York: Penguin Books.
132. GAWLINSKI M. (2003). Interactive television production, Focal Press.
133. GERARD, M. (2000). Contribution du design à la conception de gammes de produits, modélisation d'un outil de pré-visualisation de design de gamme, Thèse ENSAM (Génie industriel).
134. GERO, J.S., & KANNENGIESSER, U. (2004). The situated Function-Behaviour-Structure framework. *Design Studies* 25(4), 373-391.
135. GERO J.S., (2002). Computational Models of creative designing based on situated cognition, C&C.
136. GERO J.S. MCNEILL, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *DesignStudies* Volume 19, Issue 1, January 1998, Pages 21-61
137. GERO, J. S., TANG, M., (2001). Differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the process oriented aspects of the design process, *Design Studies*, vol. 22, no. 3 pp 283-295.
138. GIANNINI F., MONTI M., (2002). FIORES: An Innovative Approach to the Aesthetic Design, in: COMMON GROUND - THE DESIGN RESEARCH SOCIETY CONFERENCE 2002, 5-7 September 2002, London.

139. GOEL A., VATTAM S., HELMS M., (2009). Biologically Inspired Design: Human Reasoning from Nature's Experiences. In Proceedings IJCAI-09 Workshop on Grand Challenges in Reasoning from Experience, Padasena, CA, July 11-12, 2009.
140. GOLDSCHMIDT G., SMOLKOV M. (2006). Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. Design Studies 27(5): 549-569.
141. GOLDSCHMIDT G., TATSA D. (2005). How good are good ideas? Correlates of design creativity. Design Studies 26(6): 593-611.
142. GOLDSCHMIDT G. (1994) On visual design thinking: the vis kids of architecture. Design Studies 15(2):158-174.
143. GOLDSCHMIDT, G. (1991) The dialectics of sketching. Creativity Research Journal, vol. 4, no. 2, pp123-143.
144. GREEN W. S. JORDAN P. W. (2001). Pleasure with products, beyond usability, W S (Eds) London: Taylor & Francis ISBN 0415237041.
145. GRUNDSTEIN M., (2001). La capitalisation des connaissances de l'entreprise, système de production de connaissances, contribution, à l'entreprise apprenante et les sciences de la complexité.
146. GUILFORD, J.P. (1967). The Nature of Human Intelligence, NY: Mc Graw Hill.
147. HANJALIC A., XU L.-Q., Affective video content representation and modeling. IEEE Transactions on Multimedia, 7, 143-154, 2005.
148. HARADA A. (2002). Strategy towards research of Kansei, 8th Tsukuba International Design Forum, on 2 December, 2002.
149. HATCHUEL A., (2002). Lemasson Pascal, Weil Benoit, De la R&D à la RID, de nouveaux principes de management du processus d'innovation, Mines de Paris, Revue Arts et Métiers, p331.
150. HAVICK J. (2000). The impact of the Internet on a television-based society, Technology in Society, Vol. 22, p273-287.
151. HAVLENA, W. J., and HOLBROOK, M. B. (). The varieties of consumption experience, comparing two typologies of emotion in consumer behaviour, Journal of Consumer Research 13 (December Con1986): 394-404.
152. 394-404.
153. HAYES-ROTH B., HAYES-ROTH F. (1979) A cognitive model of planning, Cognitive Science, 3, 275-310.
154. HAYASHI T, HAGIWARA M, (1997). An image retrieval system to estimate impression words from images using a neural network, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics-Computational Cybernetics and Simulation, Vol.1, 150-5, IEEE, New York, NY.
155. HETZEL P., WISSLER M., (1994) Dynamique de formulation de l'offre par l'interface designer/entreprise : une approche inter-organisationnelle pour contribuer à l'apprentissage organisationnel, *Papier de recherche, n°9, URA*.
156. 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.
157. HSIAO H, HUANG HC. (2002) A neural network based approach for product form design. Design Studies, Vol 23, 67-84, SOFT COMPUTING.
158. HSIAO, S.W., CHEN, C.H., (1997), A semantic and shape grammar based approach for product design, Design studies, Design Studies, Volume 18, Issue 3, July 1997, Pages 275-296.
159. HSIAO S.W., H.C. HUANG, (2002), A neural network based approach for product form design, Design Studies, Volume 23, Issue 1, January 2002, Pages 67-84.
160. HSIAO S.W., M.C. LIU, (2002), A morphing method for shape generation and image prediction in product design, Design Studies, Volume 23, Issue 6, November 2002, Pages 533-556.
161. HSU SH, CHUANG MC, CHANG CC. (2000). A semantic differential study of designers and users product form perception, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 25, 2000, Pages 375-391.
162. HUBKA V. and EDER E., (1996), Design Science, Springer Verlag, London 1996 (also in German).
163. HUGON Marie-Anne, SEIBEL Claude, (1988). *Recherches impliquées, Recherches action : Le cas de l'éducation*, Bruxelles : De Boeck Université.
164. HUTCHISON C. AND ROSENBERG D. (1994). Design Issues In CSCW Computer Supported Cooperative Work, paperback, Springer-verlag. ISBN:0387198105.
165. HYUN-OH J., SOHN M., LEE K. P., (2007). Folksonomy-based tagging system for classifying visualized information in design practice, HCI International, Beijing.
166. ISAKSEN S.G., DORVAL K.B., TREFFINGER D.J., (2000). Creative approaches to problem solving: A framework for change. Buffalo, CPSB, ISBN 0-7872-7145-4.
167. ISHIHARA S, ISHIHARA K, NAGAMASHI M, MATSUBARA Y. (1995). An automatic builder for a Kansei engineering expert system using self-organizing neural networks, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 15, Pages 13-24.
168. ISHIHARA S, ISHIHARA K, NAGAMASHI M, MATSUBARA Y. (1997). An analysis of Kansei structure on shoes using self-organizing neural networks, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 19, Pages 93-104.
169. IZARD, C. E. (1977). Human Emotions. New York : Plenum.
170. JAIN A, MURTY M, FLYNN P, Data clustering: a review. ACM Computing Surveys, Volume 31, Issue 3, pages 264-323, 1999.
171. JAOUH H., (1995). La créativité - le trésor inconnu . Éditions Morisset, Paris.
172. JAOUH H., (1990). LA CRÉATIVITÉ, MODE D'EMPLOI, E.S.F. Editeur, Entreprise Moderne d'Édition, Librairies Techniques, 132 p.
173. JINDO T, HIRASAGO K, NAGAMACHI M. (1995). Development of a design support system for office chairs using 3D graphics, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 15, Pages 49-62

175. JINDO T, HIRASAGO K. (1997). Application studies to car interior of Kansei engineering, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 19, Issue 2, Pages 105-114
176. JOHANNESEN JA., (2008). Organisational innovation as part of knowledge management, International Journal of Information Management, Volume 28, Issue 5, Pages 403-412.
177. JOLY M., (2003). Introduction à l'analyse de l'image, Nathan Université, ISBN 2.09.190634.8.
178. JONES C. (1992) Design methods, Second edition, Edition John Wiley & Sons, Inc.
179. JOWERS I., (2006). Computation with curved shapes: towards freeform shape generation in design, thesis.
180. KARJALAINEN TM, (2003). Strategic brand identity and symbolic design cues, International Journal of Design, 6th Asian Design Conference, Tsukuba.
181. KARJALAINEN TM, (2007). Its looks like a Toyota: educational approaches to designing for visual brand recognition, International Journal of Design, Vol 1, N°1.
182. KASBI-PROSR C. (1997). Ergonomie du produit, dans [De Montmollin] p225-229.
183. KELLER, A.I., 2005, For Inspiration Only – Designer Interaction with informal collections of visual material, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
184. KOESTLER, A. (1964). The Act of Creation. London: Pan Books. ISBN 0330731165.
185. KOHAR, H., GINN, I. (1997). CHI 97: Mediators: guides through online TV services, CHI 97 Electronic Publications. <http://www1.acm.org/sigs/sigchi/chi97/proceedings/demo/hk.htm>.
186. KOZHEVNIKOV M., ROYAN J., BLAZHENKOVA O., GORBUNOV A., (2008). The Role of Immersivity in Three-Dimensional Mental Rotation, Design Computing and Cognition, Atlanta.
187. KURODA K, HAGIWARA M. (2002). An image retrieval system by impression words and specific objects names – IRIS, Neurocomputing Vol 43, 259-276.
188. LAI H.H., LIN Y.C., YEH C.H., (2005). Form design of product image using grey relational analysis and neural network models, Computers and Operations Research , Volume 32 , Issue 10, Pages: 2689 - 2711, 2005, ISSN:0305-054854).
189. LANG, P. J., BRADLEY, M. M., & CUTHBERT B. N. (1997). International affective picture system : Technical manual and affective ratings. Gainseville, FL : The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
190. LANZARA G. F., (1983) The design process : frames, metaphors und games in u. Briefs & al. (eds), "system design for, with and by the users", Proceedings Of The Ifip Working Conference, riva Del Sole, Italy, North Holland Publishing Co Amsterdam.
191. LANZARA G. F., (1984) La théorie de la conception entre "problem-solving" et "problemsetting", Quelques implications cognitives et organisationnelles, *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel*.
192. LAWSON B. (2004). What designers know. Oxford, architectural press.
193. LAWSON B. (2006). How designers think - the design process demystified. Oxford (4th edition), architectural press.
194. LEBAHAR, J.C. (1994). Le design industriel : sémiologie de la séduction et code de la matière. Marseille : Parenthèses.
195. LEBAHAR J.C. (1993). Aspects cognitifs du travail du designer industriel, Design Recherche n°3, février
196. LEBAHAR J.C. (1986). Le travail de conception en architecture : contraintes et perspectives apportées par la CAO, Le Travail humain, Tome 49, N°1.
197. LECLERCQ P., HEYLIGHEN A. (2002). 5.8 Analogies per hour: A designer's view on analogical reasoning. AID'02 Artificial Intelligence in Design 2002, Cambridge, UK.
198. LE COQ M., (1992). Approche intégrative en conception de projet, Thèse ENSAM (Génie industriel).
199. LEE S.H., HARADA A., OKAZAKI A., Modeling structure of Kansei : An analysis of how people appreciate art the squisse a remote controlled robot, Art and Design Institute, University of Tsukuba, Graduate School of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba, report of modelling the evaluation structure of Kansei 2001, p.203.
200. LEE C.B., (2007). Emotional value driven product & service innovation strategy in global corporate environment, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, KEER, Sapporo, 2007.
201. LEE B. & LEE R. (1995). How and why people watch TV: implications for the future of interactive television, Journal of Advertising Research, Vol. 35, No. 6, p9-18.
202. LE MOIGNE J. L., (1990). *La modélisation des systèmes complexes*, Afcet Systèmes, Editions Dunod
203. LE MOIGNE J. L., (1977) *La théorie du système général*, PUF,
204. LE MOIGNE J. L., (1973) *Les systèmes d'information dans les organisations*, P.U.F
205. LEWIS K. L. (1988). Creative problem solving workshops for secondary gifted programming. Unpublished masters project, State University of New York College at Buffalo; Center for Studies in Creativity, Buffalo, NY.
206. LEWIS, J. R. (1995). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use, International Journal of Human-Computer Interaction, 7:1, 57- 78.
207. LI Z., RASKIN V., AND RAMANI K., (2007). A Methodology of Engineering Ontology Development for Information Retrieval, Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design (ICED'07), Paris, 2007.
208. LIN, H.X. CHOONG, Y.-Y., AND SALVENDY, G. "A Proposed Index of Usability: A Method for Comparing the Relative Usability of Different Software Systems" / - Behaviour & Information Technology, 16:4/5, 267-278.
209. LINDLOF, T.R. AND TAYLOR, B.C. (2002) Qualitative Communication Research Methods. SAGE Publications Ltd. 2nd Revised edition.

210. LIU H., TANG M., FRAZER J., (2004). Supporting creative design in a visual evolutionary computing environment. *Advances in Engineering Software*, 35(5): p. 261-271.
211. LIU H., TANG M., (2006). Evolutionary design in a multi-agent design environment, *Applied Soft Computing*, Vol 6, pp. 207-220.
212. LIU M. (1992). Présentation de la recherche action : définition, déroulement et résultats, vol.6, n°4, pp.293 à 311, *Revue Internationale de Systémique*.
213. LLOYD P., SCOTT P., (1994). Discovering the design problem, *Design Studies*, January Vol 15 n.2.
214. LLOYD, P., LAWSON, B., SCOTT, P. (1995). Can concurrent verbalization reveal design cognition? *Design Studies*, vol. 16, pp 237-259.
215. LLOYD P. & SNELDERS D. (2003). What was Philippe Starck thinking of? *Design Studies* 24(3): 237-253.
216. LONCHAMPT, P. (2004). Co-evolution et processus de conception intégrée de produits, Thèse INPG (Génie industriel).
217. LOUIS HARRIS, (2002). *Les valeurs des jeunes*, Institut Louis Harris & VSD. http://www.louisharris.fr/version_f/autres_s/accueil%2002.htm
218. MAEKAWA K., HAYASHI T., WATANABE Y., (2003). Design and rapid prototyping of affective shapes with 1/f fluctuation characteristics, *Proc. 6th Asian Design International Conference*.
219. MAHER M.L. (1990) Process models for design synthesis. *A.I. Magazine*, 49-58.
220. MAIMON O. Z., HOROWITZ, R. (1999). Sufficient Conditions for Inventive Solutions. 1999, vol. 29, no3, pp. 349-361. Volume: 19, Issue: 2, Pages: 185-192
221. MALAGA, R.S. (2000). The effect of stimulus modes and associative distance in individual creativity support systems, *Design Support Systems*, Vol 29.2 125-141.
222. MALLEIN P. (1996). La conception assistée par les usages, *Memento* 7, juin 1996.
223. MALLEIN P. (1998). Pertinence socio-économique des nouvelles technologies. *Temporalité de l'innovation*.
224. MATSUBARA Y., NAGAMACHI M. (1997). Hybrid Kansei Engineering System and design support. *International Journal of Industrial Ergonomics* 19 (1997) pag. 81-92.
225. MAUSSANG N., ZWOLINSKI P., BRISSAUD D., Product-Service System design methodology: from the PSS architecture design to the products specifications, *Journal of Engineering Design*, fully accepted in November 2008.
226. McLuhan M. (1964). *Understanding Media*, New York, New American Library.
227. MEHRABIAN, A, FRIAR, J (1969). Encoding of attitude by a seated communicator via posture and position cues. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 33:330-336.
228. MER S., TICHKIEWITCH S., JEANTET A. (1995), *Les objets intermédiaires de la conception*, in Le communicationnel pour concevoir, Caelen J. et Zreh K., Europa Productions, Paris.
229. MERMET G., (2003). *Francoscopie*, Edition Larousse.
230. MIDLER C., (1993) *L'auto qui n'existait pas. Management des projets et Transformation de l'entreprise*. Paris Interéditions.
231. MIDLER C., (1994) Gestion de projet, design industriel et marketing autour de Renault Twingo. *Actes. 3e journée de gestion industrielle et qualité*, Conférence du Jeudi 10 mars 1994.
232. MIDLER C., (1994) Le développement du management des projets dans l'industrie automobile, le cas de renault, *Actes gestion industrielle et qualité*, Renault design Alsace, 10 mars 1994
233. MINTZBERG H., VAN DER HEYDEN L., (2000)., Re-viewing the Organization, *Ivey Busines Journal* (September/October, 2000)—different ways to conceive processes in organizations.
234. MITCHELL, M. T. (1996): *Machine Learning*. McGraw Hill, New York.
235. MOISDON J.C., WEIL B, (1992)., L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales ?, *Gérer et comprendre*, *Annales des Mines*, décembre 1992.
236. MONDRAGON S, COMPANY P AND VERGARA M, (2005). Semantic Differential applied to the evaluation of machine tool design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 35, Issue 11, November 2005, Pages 1021-1029.
237. MONK, (1989). H.T. Monk, A visual analog scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Res* 27 (1989), pp. 89-99.
238. MORAN T.P., CARROLL J.M., (1996). Design rationale: concepts, techniques and use, Mahwah: LEA 1996, 488p.
239. MUSA T., KIMURA S., KANEKO KI., NISHIDA K., SEKINE K., Emotion Spectrum Analysis Method (ESAM) for Monitoring the Effects of Art Therapy Applied on Demented Patients, *CyberPsychology & Behavior*. June 2000, 3(3): 441-446.
240. NAGAMASHI M. (2002). Kansei Engineering as a powerful consumer-oriented technology for product development, *Applied ergonomics*, Vol 33, 289-294.
241. NAKAKOJI K., YAMAMOTO Y., SUGIYAMA K., TAKADA S., (1998). Finding the 'Right' Image: Visualizing Relationships among persons, Images and Impressions. *Designing Effective and Usable Multimedia Systems*.
242. NAKAKOJI K. (2006) Meanings of Tools, Support, and Uses for Creative Design Processes. *International Design Research Symposium'06*, 156-165, Seoul, November, 2006.
243. NEGROPONTE N. (1997). *L'homme numérique*, trad. par Michèle Garène, Paris Pocket, 295p.
244. NIELSEN, J., (2001). *DVD Menu Design: The Failures of Web Design Recreated Yet Again* / Jakob Nielsen.
245. NIELSEN J., (1993)., *Usability engineering*, Boston ; San Diego ; NY ; etc. : Academic press, 1993. - 358p.
246. NORMAN, D.A. (2004). *Emotional Design: Why we love (or hate) everyday things*. New York, Basic Books.
247. NORMAN, D.A. (2004). *The invisible computer: Why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*, Donald A. Norman. Cambridge (Mass.), MIT

- Press. NORMAN D.A. (1988) The psychology of everyday things. Basic Books [Reprinted MIT Press, 1998].
248. OGAWA T, NAGAI Y, IKEDA M, (2007). An ontological engineering approach to externalize designers' communication style in support of artistic idea sharing, IASDR 2007, Hon-Kong, Design Research Society, 11-15 November.
 249. ORERO J., LEVILLAIN F. DAMEZ-FONTAINE M., RIFIQI M. BOUCHON-MEUNIER B., (2010). Assessing gameplay from physiological signals : a fuzzy decision tree model. Proc. of KEER 2010.
 250. OSBORN A.F., (1963)., Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving. New York, NY: Charles Scribner's Sons.
 251. OSGOOD C. E., SUCI G., TANNENBAUM P., (1957). The Measurement of Meaning. University of Illinois Press. ISBN 0-252-74539-6.
 252. OSGOOD C. E., (1979). Focus on Meaning: Explorations in Semantic Space. Mouton Publishers.
 253. OSHIMA N. & HARADA A., (2004). Design methodology which recollects memory in creation process - D.S.I.
 254. OXMAN R. E. (2002). The Thinking Eye: Visual Re-Cognition in Design Emergence, Design Studies, Vol. 23 No. 2 pp. 135-164.
 255. PAHL G. and BEITZ I. (1984) Engineering Design: A Systematic Approach. Springer: London.
 256. PANKSEPP, J. (1989). The neurobiology of emotions: Of animal brains and human feelings. In T. Manstead & H. Wagner (Eds.) Handbook of Psychophysiology, pp 5-26, Chichester, UK: John Wiley & Sons.
 257. PASMAN, G. (2003) Designing With Precedents. Delft University of Technology, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands.
 258. PATESSON R., SPERANDIO JC & al, (1986). L'homme et l'écran: L'aspect de l'ergonomie en informatique, Les actes du colloque de Nivelles, L'ergonomie en Informatique, BRUXELLES: UNIVERSITE LIBRE DE BRUXELLES.
 259. PERLMAN, G. (1993). Practical Usability Evaluation, Based in part on Nielsen's 1993 Heuristics and Norman's 1990 Principles. - <http://www.acm.org/~perلمان/question.cgi?form=PHUE>
 260. PFORSICH J. (1977). Handbook for Laban Movement Analysis" Written and Compiled by. Copywrite Janis Pforsich.
 261. PIOLAT, A., & BANNOUR, R. (2009). EMOTAIX : Un Scénario de Tropes pour l'identification automatisée du lexique émotionnel et affectif. L'Année Psychologique.
 262. PLUTCHICK, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In R. Plutchick & H. Kellerman (Eds.), Emotion, theory, research, and experience : Theories of emotion (Vol. 1, pp. 3-34). New York : Academic Press.
 263. PROST, R. (1992). Conception architecturale, Une investigation méthodologique, Ed. L'Harmattan.
 264. PROST, R. (1997). De l'enseignement du projet d'architecture à l'enseignement de la théorie et la pratique de la conception architecturale.
 265. PURCELL, A. T., GERO, J. S. (1998). Drawings and the design process, Design Studies, 19: 389-430.
 266. QUARANTE D., (2006) Eléments de design industriel, Editions Brochet.
 267. QUICO C. (2000). Interactive television: A new media industry in Portugal - analysis of the current and future developments of products and services" / - Master Thesis, EMMABA.
 268. RASMUSSEN J., (1983). Skills, Rules and Knowledge ; Signals, Signs and Symbols, and other Distinction in Human Performance Models; IEEE Transactions on Systems; Man and Cybernetics.
 269. RASMUSSEN, J. , PEJTERSEN, A. M. & GOODSTEIN, L. P. (1994) Cognitive systems engineering. John Wiley and Sons.
 270. RASMUSSEN, J. & VICENTE, K. J. (1989). Coping with human errors through system design: Implications for ecological interface design. International Journal of Man-Machine Studies, 31, 517-534.
 271. RASMUSSEN E., Clustering algorithms, in: W.B. Frakes, R. Baeza-Yates (Eds.), Information Retrieval, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992, pp. 419-442.
 272. REHAL, S. (2007). *Words and images for exploration and communication of concepts in the early stages of the design task*. In: PROCEEDINGS OF PDC 2002 AT MALMÖ. Editors Binder, T., Gregory, J., Wagner, I., Malmö, 2002. Disponible en: <http://www.design.chalmers.se/people/saddek_rehal/>. Acesso em: 22 ago.
 273. RESNICK, M. (2007). Sowing the Seeds for a More Creative Society. Learning and Leading with Technology, December 2007.
 274. RESTREPO J. (2006). Studying design engineers use of information systems: Which variables to control for? Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
 275. RESTREPO J, CHRISTIAANS H, GREEN WS, (2004). *Give me an Example: Supporting the Creative Designer*, Proceedings of Computers in Art and Design Education Conference, Copenhagen Business School, Denmark and Malmö University, Sweden, M. Agger Eriksen., L. Malmberg, J. Nielsen.
 276. RESTREPO J. and CHRISTIAANS H. (2005) From function to context to form: precedents and focus shifts in the form creation process. Creativity & Cognition, 195-204.
 277. RICHARD, J.F. (1990). *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*, Armand Colin.
 278. RIFIQI M., (1996)., Constructing prototypes from large databases, IPMU'96, Grenade.
 279. ROBERTSON, S., WHARTON, C., ASHWORTH, C., FRANZKE, M. (1996). Dual device user interface design: PDAs and interactive television, CHI 96 Electronic Proceedings.
 280. ROOZENBURG N F M & ECKELS J, (1995). Product design: Fundamentals and methods, John Wiley & Sons, Chichester,. U.K.

281. ROKEACH M. (1973). *The Nature of Human Values*, New York, N.Y.: The Free Press,.
282. ROSENMAN M. AND GERO J. (1992) Creativity in Design Using a Prototype Approach, in *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design*.
283. SAAFI J., ADIL A., FAKHREDDIN E., (2005). Application de l'approche QFD à la conception de programmes dans l'université marocaine", Conférence CPI2005.
284. SANDERS E.B.N. (2001). From User-Centered to Participatory Design Approaches, Design and the Social Sciences. J.Frascara (Ed.), Taylor & Francis Books Limited.
285. SARKAR P., CHAKRABARTI A., (2007). Development of a method for assessing design creativity, International conference on engineering design, ICED'07 , 28 - 31 August 2007, Paris .
286. SATO T., HAGIWARA M., IDSET : interactive Design System using Evolutionary Techniques, Computer-Aided-Design, Vol 33, 2001, Pages 367-377.
287. SCHÖN D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books (reprinted in 1995).
288. SCHÖN D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Knowledge-Based Systems*, 5(1): 3-14.
289. SCHÖN D. A., AND WIGGINS G., KINDS of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135-156, 1992.
290. SCRIVENER S. A. R. & CLARK S. M. (1994) *Sketching in Collaborative Design*, in *Interacting With Virtual Environments*, Wiley Professional Computing, England.
291. SCRIVENER S.A.R. & CLARK S.M. (1994) *Introducing Computer-Supported Cooperative Work*, in *Computer-Supported Cooperative Work*, Publ: Avebury Technical, Ashgate Publishing Ltd, England, ed. S.A.R. Scrivener, pp.51-66, 1994 (Chapter 1).
292. SEDIVY, & H. JOHNSON, (2000). Multimodal tool support for creative tasks in the visual arts, *Knowledge-Based Systems*, Volume 13, Issues 7-8, 1 December 2000, Pages 441-450.
293. SHIROMA Y., 1999, A study on the generation of aleatory forms by aleatory, ICED 1999, Munich, August 24-26, 1999.
294. SCHMITT, B. H. (2004). Le marketing retrouve les valeurs de la sensibilité, www.lesechos.fr.
295. SCHNEIDERMAN B. (2000). Creating Creativity: User Interfaces for Supporting Innovation. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* 7(1): 114-138.
296. SCHERER, K. R., BANSE, R., WALLBOTT, H. G. (2001). Emotion inferences from vocal expression correlate across languages and cultures. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 32(1), 76-92
297. SHANG H. HSU, MING C.CHUANG AND CHIEN C. CHANG, (2000). A semantic differential study of designers' and users' product form perception, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Volume 25, Issue 4, May 2000, Pages 375-391.
298. SHNEIDERMAN B. (1992). *Designing the user interface: strategies for the effective human-computer interaction*, 2nd Ed. Addison-Wesley, 573p.
299. SCHÜTTE S., (2006). Developing the Space of Product Properties Supporting Kansei Engineering Procedure, *Kansei Engineering International*, 2006, (5), 4, 11-19.
300. SCHÜTTE S., (2005) *Engineering Emotional Values in Product Design*, Thesis.
301. SHACKEL B. (1985). Human Factors and Usability, Whence and Whither. *Software-Ergonomie* 13-31.
302. SIMON H. A., (1969). *The science of the artificial*, Cambridge, Mass, the MIT Press.
303. SIMON H.A., (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial intelligence*, 4, 181-201, cité in Garrigou A., 1995.
304. SILVERSTONE R. (1995). Convergence is a dangerous word, *Convergence*, spring 1995, volume 1, n°1, pp11-13.
305. SMETS G. J. F. AND OVERBEEKE C. J. (1995). Expressing tastes in packages, *Design Studies* Vol 16 N3 July.
306. SÖNERMAN M. (2002). Comparing Desktop Virtual Reality with handmade sketches and real products - exploring key aspects for end-users' understanding of proposed products, *Journal of Design Research*, Volume 2 - Issue 1.
307. SOUFI B. & EDMONDS E. (1996). The cognitive basis for emergence: implications for design support. *Design Studies* 17, pp. 451-463.
308. STAPPERS, P.J., SANDERS, E. B.-N. (2005) Tools for Designers, Products for Users? The Role of Creative Design Techniques in a Squeezed-in Design Process. In Hsu, F. Proceedings of the International Conference on Planning and Design, NCKU, Taiwan.
309. STIEGLER B., (1997). Perspectives: relations entre besoin, attentes et usage, *Mémento 10 Evolution des usages et croissance*, 11p.
310. SUWA, M., PURCELL, T., GERO, JS. (1998) Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, vol. 19, pp 455-483.
311. SUWA, M. AND TVERSKY, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), pp.385-403.
312. SUH N. P., (1990). *The principles of design*, Oxford University Press, New York, 1990.
313. SUH N.P. (1999). *Applications of Axiomatic Design*, Integration of process Knowledge into Design Support, ISBN 0-7923-5655-1, Kluwer Academic Publishers.
314. SYRETT, M. LAMMIMAN, J. (2002). Creativity. Oxford, GBR: Capstone.
315. SHIBATA, Y., MIYAKAWA, A., (2003), Kansei Information Processing and Virtual Reality Techniques for Japanese Traditional Crafting Presentation, Multimedia Tools and Application, Springer Netherlands ISSN1380-7501, Volume 20, Number 1 / mai 2003, Pages83-91.
316. STAPPERS P. J. & PASMAN G. (2001). ProductWorld: an interactive environment for classifying and retrieving product samples. *Bulletin of the Fifth Asian Design Conference*, Seoul, Korea.

317. SUH MW, MCCORD M, WOO JL, SHALEV I, KIM HB, Sensory (Kansei) Engineering of Aesthetics in Textile Fabrics, Code Number: F99-S2, This project was a Seed Project discontinued as of 4/30/00.) NC State.
318. TANOUE, C., ISHIZAKA, K. AND NAGAMACHI M. (1997). Kansei Engineering: A study on perception of vehicle interior image. *International Journal of Industrial Ergonomics* 19 (1997): 115-128.
319. TASMA S., ANARGYROS, F., LOEB, G. (1999). Et si on remettait les compteurs à zéro, Hypothèses pour des futures probables, Les éditions de l'imprimeur, VIA.
320. TICHKIEWITCH S., CHAPA KASUSKY E., BELLOY P., (1995). Un modèle produit multivues pour la conception intégrée, Congrès international de Génie Industriel de Montréal - La productivité dans un monde sans frontières, Vol. 3, p. 1989-1998.
321. TICHKIEWITCH S., BRISSAUD D. (2000) Co-Ordination Between Product and Process Definitions in a Concurrent Engineering Environment. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 49(1): 75-78.
322. TICHKIEWITCH S., BRISSAUD D., JEANTET A., TIGER H. (2001) Une interdisciplinarité forte au service de la recherche en outils et méthodologies de conception. 2nd International Conf. on Integrated Design and Production (CPI 2001) 115: 1-6.
323. TOMKINS, S.S. (1980). Affect as amplification : some modifications in theory. In R. Plutchick & H. Kellerman (Eds.), *Emotion, theory, research, and experience: Theories of emotions* (Vol. 1, pp. 141-165). New York : Academic Press.
324. TORRANCE E.P. (2004), Un résumé historique du développement des tests de Pensée Créative de Torrance, *Revue de Psychologie Appliquée*, 54, 1, 57-63.
325. TOVEY M., PORTER S. and NEWMAN R. (2003). Sketching, concept development and automotive design. *Design Studies* 24(2): 135-153.
326. TOVEY M. and OWEN J. (2000). Sketching and direct CAD modelling in automotive design. *Design Studies* 21(6): 569-588.
327. TOVEY M. (1997). Styling and design: intuition and analysis in industrial design. *Design Studies* 18 (1): 5-31.
328. TOVEY M. (1994). Computer Aided Vehicle Styling : form creation techniques for automotive CAD, *Design Studies* Vol. 15 N°1 January.
329. TOVEY M. (1994). Form Creation Techniques for automotive CAD, *Design Studies*, January Vol 13 n.1.
330. TOVEY M. (1992). Intuitive and objective processes in automotive design, *Design Studies*, Vol. 15 N°1, January 1992, PP23 à 41.
331. TOYAMA T. (1976). Semiotic Studies on the Design Methods, *Report of the Institute of Industrial Science*, The University of Tokyo.
332. TSAI PC, CHUANG MC, The image of products composed by material and form with discordant images, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research, KEER, Sapporo, 2007.
333. ULLMAN, D. (1997), *The Mechanical Design Process*, McGraw-Hill, New York, 2nd edition.
334. ULRICH K. T., (2000). *Product design and development*, Steven D. - 2nd ed. Eppinger, 2000.
335. UTSUGI N, YIYIN S, ABE M, SHIRASHI T, (2007). Visual character of board-formed environment conscious materials, International Association of Societies of Design Research Conference, Hon-Kong, Polytechnic University, 12-15th November.
336. VADCARD P. (1996) Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits. Thèse de doctorat ENSAM (Génie industriel)
337. VALETTE-FLORENCE P. (1994) Introduction à l'analyse des chaînages cognitifs, Recherche et Application en marketing, vol9, n°1, pp93-118.
338. VALETTE-FLORENCE P., RAPACCHI B. (1990). Application et extension de la théorie des graphes à l'analyse des chaînages cognitifs : une illustration pour l'achat de parfums et eaux de toilette, Papier de recherché.
339. VALETTE-FLORENCE P. (1993). Les démarches des styles de vie concepts champs d'investigation et problèmes actuels, Recherche et applications en marketing, N°1.
340. VALETTE-FLORENCE P. (1993). L'univers psycho-sociologique des études de styles de vie apports limites et prolongements, *Revue Française du marketing*, n°141.
341. VAN DEN ENDE J., JASPERS F., GERWIN D., (2008). Involvement of system firms in the development of complementary products: The influence of novelty, *Technovation*, Volume 28, Issue 11, Pages 726-738
342. VAN DER LUGT R. (2005). How sketching can affect the idea generation process in design group meetings. *Design Studies* 26(2): 101-122.
343. VAN DER LUGT R. (2003). Relating the quality of the idea generation process to the quality of the resulting design ideas. ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, Sweden.
344. VAN DER LUGT R. (2001). Developing brainsketching, a graphic tool for generating ideas. *Idea Safari*, 7th European Conference.
345. VAN DER LUGT R. (2000). Developing a graphic tool for creative problem solving in design groups. *Design Studies* 21(5): 505-522.
346. VANGUNDY A. B. (1992). *Idea power*. New York: Amacom, a division of American Management Association.
347. VINCK D., (1999) *Ingénieurs au quotidien. Ethnographie de l'activité de conception et d'innovation*, PUG, Collection *Génie Industriel*.
348. VINCK D. (2003). L'instrumentation du travail interdisciplinaire: cadrage des échanges et médiation par les objets intermédiaires. *Esprit Critique* 5(1): 9.
349. VINCK D., JEANTET A., (1995). Comissioning or mediating objects in the sociotechnical process of product design : a conceptual approach, COST Social Sciences Serie.

350. VISSER, W. (1998)., Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive aux VIIèmes Rencontres pour ouvrir le XXIème siècle: Cerveau et machine dans le processus de conception. Quelle place pour l'homme ?, F.A.U.S.T. 98, Forum des Arts de l'Univers Scientifique et Technologique, Toulouse, 23 et 24 octobre 1998.
351. VISSER W., FALZON P., 1988 (1b), Recueil et analyse de l'expertise dans une activité de conception : questions de méthode, Psychologie Française, 33-3, 133-138.
352. VISSER W., 1990, More or less following a plan during design : opportunistic deviations in specification. International Journal of Man-Machine Studies. Special Issue : "What programmers know", 33, (3), 247-278.
353. VALENTINCIC J, BRISSAUD D, JUNKAR M, A novel approach to DFM in tool making: a case study, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 20, n° 1, pp 28-38, 2007.
354. WALLAS G. (1926). The Art of Thought, Harcourt, Brace & World. NY.
355. WALLBOTT, HG. (1998). Bodily expression of emotion. European Journal of Social Psychology, 28:879-896.
356. WANG C. An approach to computer-aided styling, Design Studies Vol 16 N°1, January 1995.
357. WANG H., & CHEONG L.F., (2006). Affective understanding in film. IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, 16, 689-704.,
358. WATABE H. & KAWAOKA T., (1998). Evolutional Shape Modeling by Extended Genetic Algorithm: Multi-Step GA, Proc. Of the Int. Conf on Knowledge-Based Intelligent Electronic System, 21-23 April 1998, Adelaide, Australia, pp. 317-323.
359. WEGMANN G., (1999)., Les tableaux de bord stratégiques: Analyse comparative d'un modèle nord-américain et d'un modèle suédois, thèse de doctorat, IAE Paris, 11/ 1999.
360. WILSON J. O., ROSEN D., (2010). The effects of biological examples in idea generation, Design Studies 31.
361. WIEBE J. (2009). Bibliography of work in subjectivity and sentiment analysis. Internet URL [<http://www.cs.pitt.edu/~wiebe/subjectivityBib.html>].
362. YANG S.M., NAGAMASHI M., LEE S.Y. (1999). Rule-based inference model for the Kansei Engineering System, International Journal of Industrial Ergonomics, Volume 24, Pages 459-471
363. YANG MC, WILLIAM H, WOOD III, CUTOSKY MR, (2005). Design information retrieval: a thesauri-based approach for reuse of informal design information, Engineering with computers, 21, pp177-192, DOI 10.1007/s00366-005-0003-9.
364. YANNOU B., (2006), Préconception de produits, HDR, Institut National Polytechnique de Grenoble.
365. XU M., JIN J., LUO S. DUAN, L., (2008). Hierarchical movie affective content analysis based on arousal and valence feature. Proc. of the 16th ACM Int. Conf. on Multimedia, MM'08 (pp. 677-680). ACM.
366. ZADEH L. Fuzzy sets. Information and Control, Volume 12, Issue 2, 1965.
367. ZAJONC, R.B. et H. MARKUS (1982). Affective and Cognitive Factors in Preferences, Journal of Consumer Research, 9, 123-131.
368. ZEILER W., SAVANOVIC P., QUANJEL E. (2007) Design decision support for the conceptual phase of the design process. IASDR'07, Conference by the International Association of Societies of Design Research, Hong-Kong, November 2007.