



HAL
open science

Modélisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits, pour une créativité augmentée

Céline Mougenot

► **To cite this version:**

Céline Mougenot. Modélisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits, pour une créativité augmentée. domain_other. Arts et Métiers ParisTech, 2008. Français. NNT : 2008ENAM0042 . pastel-00004475

HAL Id: pastel-00004475

<https://pastel.hal.science/pastel-00004475>

Submitted on 12 Jan 2009

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.



Ecole doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur

de

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité "Génie industriel"

*présentée et soutenue publiquement
par*

Céline Mougenot

le 2 décembre 2008

**MODELISATION DE LA PHASE D'EXPLORATION
DU PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS,
POUR UNE CREATIVITE AUGMENTEE**

Directeur de thèse : Ameziane AOUSSAT

Co-encadrement de la thèse : Carole BOUCHARD

Jury :

M. Serge TICHKIEWITCH, Professeur, INPG..... Président et rapporteur
M. Alain BERNARD, Professeur, Ecole Centrale Nantes Rapporteur
M. Ameziane AOUSSAT, Professeur, Arts et Métiers ParisTech Examineur
Mme Carole BOUCHARD, Maître de Conférences, Arts et Métiers ParisTech Examineur
M. Henri CHRISTIAANS, Associate Professor, TU Delft Examineur
M. David WILKIE, Design Manager, Stile Bertone..... Invité

Laboratoire de Conception de Produits et Innovation
Arts et Métiers ParisTech, CER de Paris

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier ici les membres de mon jury de thèse. Merci à **M. Serge Tichkiewitch** de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse et d'être le rapporteur de mon travail. J'adresse également mes plus vifs remerciements à **M. Alain Bernard** qui a accepté d'être rapporteur de cette thèse. Merci d'avoir trouvé le temps de juger mon travail en qualité de rapporteurs, malgré des emplois du temps déjà remplis à 150%. Merci pour vos questions éclairantes qui s'appuient sur des années d'expérience de la recherche en conception et qui ont une grande valeur aux yeux de la jeune chercheuse que je suis.

Je remercie **M. Henri Christiaans**. Nous avons découvert lors de la conférence IASRD07 à Hong-Kong que mes travaux étaient très proches de ceux que vous menez depuis déjà quelques années. Je vous remercie d'avoir accepté de vous replonger dans votre connaissance du français pour pouvoir juger mon travail et d'avoir fait le déplacement depuis les Pays-Bas. J'espère que cet événement sera le début de futures collaborations entre TU Delft et Arts et Métiers ParisTech. Hartelijk dank !

Je remercie **M. David Wilkie**, impliqué dans le projet de recherche TRENDS en tant que Directeur du Design chez Stile Bertone. Nous nous sommes rencontrés à plusieurs reprises dans les locaux de Bertone, cachés dans un village de la région turinoise et votre accueil a toujours été des plus chaleureux malgré les contraintes de confidentialité que votre activité vous impose. Vous m'avez ouvert les portes du monde fascinant de la création et du design automobile. Je vous en remercie et vous souhaite grand succès avec Mindset, l'entreprise que vous venez de créer dans la conception de véhicules électriques.

Ce travail a été encadré par **M. Ameziane Aoussat** et **Mme Carole Bouchard**. Un immense merci à tous les deux pour m'avoir accueillie au laboratoire Conception de Produits et Innovation et pour m'avoir fait une place au sein du projet génial qu'est TRENDS. Je sais toute l'importance que vous attachez à ce projet et j'espère avoir été à la hauteur de vos attentes. Vous m'avez transmis votre passion de la recherche et je vous en exprime ici toute ma gratitude. Merci également à **M. Robert Duchamp**, qui a fondé le laboratoire (l'année de ma naissance !), sans qui ces travaux n'auraient jamais existé.

Je souhaite aussi remercier **Mme Anne Guénand**, mon professeur à l'Université de Technologie de Compiègne, qui m'a donné le goût de la recherche en design et le goût du Japon. Ces deux éléments ont été déterminants dans mes choix de vie. Je vous dois beaucoup et vous exprime ici mon immense reconnaissance. Merci.

La recherche au quotidien, c'est aussi une vie de laboratoire. Grâce à mes collègues, je suis arrivée au laboratoire tous les matins de ces trois dernières années avec le sourire. C'est une chance rare ! Merci à tous, vous allez me manquer.

Enfin, merci à mes proches et merci à Jérémie qui a dû et su me supporter, dans tous les sens du terme, pendant ce travail de thèse.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	5
OBJECTIF ET PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE	5
ORIGINALITE DE LA THESE.....	7
APPORTS DE LA THESE	8
STRUCTURE DU DOCUMENT	9
1 . POSITIONNEMENT ET ENJEUX	13
INTRODUCTION	15
1.1 POSITIONNEMENT SCIENTIFIQUE : GENIE INDUSTRIEL ET MULTIDISCIPLINARITE	16
1.1.1 Génie industriel et sciences de la conception.....	16
1.1.2 Vers l'optimisation du processus de conception	18
1.1.3 Des connections avec d'autres disciplines scientifiques	19
1.1.4 Conclusion sur notre positionnement.....	23
1.2 ENJEUX DE CETTE RECHERCHE : COMPETITIVITE ECONOMIQUE, ETHIQUE ET DESIGN INDUSTRIEL	24
1.2.1 Enjeu économique : Soutenir la compétitivité économique par le design.....	24
1.2.2 Enjeu sociétal : Développer des produits respectueux de l'humain et de la société	26
1.2.3 Enjeu scientifique : Fournir outils et méthodes aux designers par l'étude de leur activité	27
CONCLUSION DE LA PARTIE 1	30
2 . ETAT-DE-L'ART : LA PHASE D'EXPLORATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	31
INTRODUCTION	33
2.1 DU CONCEPT AU PRODUIT : LE PROCESSUS DE CONCEPTION.....	35
2.1.1 Modèles de processus de conception.....	35
2.1.2 Une tendance forte en conception : vers l'ingénierie simultanée	41
2.1.3 La phase d'exploration, une thématique de recherche émergente.....	43
2.1.4 Le passage à la phase de génération : la production d'esquisses	45
2.2 L'ACTIVITE DE CONCEPTION DANS LA PHASE D'EXPLORATION	47
2.2.1 L'activité de conception vise à résoudre un problème mal défini	47
2.2.2 Sources d'inspiration en conception.....	48
2.2.3 Images et informations visuelles en conception.....	52
2.2.4 Une méthodologie d'exploration : l'Analyse de Tendances Conjointe (A.T.C.).....	54
2.3 CREATIVITE EN CONCEPTION	57
2.3.1 Principes généraux de créativité.....	57
2.3.2 Créativité en conception : la résolution de problème par analogie.....	60
2.3.3 Evaluation de la créativité.....	66
2.3.4 Evaluation de l'impact des sources d'inspiration sur la créativité des concepteurs	71
2.4 NUMERISATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION	77
2.4.1 Vers une numérisation toujours plus amont : la stratégie de Dassault Systèmes	78
2.4.2 Quelques outils numériques d'aide à l'exploration	81
2.4.3 Pistes pour de futurs outils d'aide à la recherche de ressources inspirationnelles	84
2.4.4 Bilan sur la numérisation de la phase d'exploration.....	88
2.5 SYNTHESE DE L'ETAT-DE-L'ART	89
3 . PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES DE MODELISATION	93
INTRODUCTION	95
3.1 PROBLEMATIQUE : FAVORISER LA CREATIVITE EN CONCEPTION	96
3.2 HYPOTHESES DE MODELISATION	97
3.2.1 Hypothèse 1 : La phase d'exploration est une phase de traitement d'informations numérisable	97
3.2.2 Hypothèse 2 : La phase d'exploration impacte la créativité	97
RESUME DE LA PROBLEMATIQUE ET DES HYPOTHESES	101

4 . EXPERIMENTATIONS	103
INTRODUCTION	105
4.1 CADRE DES EXPERIMENTATIONS: LE PROJET 'TRENDS'	106
4.1.1 Objectifs du projet TRENDS	106
4.1.2 Moyens mis en œuvre	108
4.1.3 Rôles des partenaires.....	108
4.1.4 Cadre des expérimentations : l'étape de définition du besoin des designers	110
4.2 OBJECTIF DES EXPERIMENTATIONS	114
4.3 DESCRIPTION DE LA PHASE D'INFORMATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION (EXP.1)	116
4.3.1 Objectif de l'expérimentation 1	116
4.3.2 Méthode : Entretiens avec les designers	116
4.3.3 Résultats	120
4.3.4 Conclusion sur l'EXP 1	127
4.4 TYPOLOGIES D'INFORMATIONS RECUEILLIES PAR LES CONCEPTEURS (EXP.2)	129
4.4.1 Objectif de l'expérimentation 2	129
4.4.2 Méthode : simulations de la phase d'information (collecte et catégorisation d'images).....	130
4.4.3 Résultats	134
4.4.4 Discussion et apports.....	141
4.4.5 Conclusion sur l'EXP 2	143
4.5 STRUCTURATION DES BASES IMAGES ET LIEN AVEC LA CREATIVITE (EXP.3).....	145
4.5.1 Objectif de l'expérimentation 3	145
4.5.2 Méthode : simulations de la phase de génération.....	145
4.5.3 Résultats	150
4.5.4 Discussion et apports.....	152
4.5.5 Conclusion sur l'EXP.3	152
4.6 SYNTHESE DES APPORTS EXPERIMENTAUX	154
4.6.1 Synthèse de la démarche expérimentale.....	154
4.6.2 Validation des hypothèses	159
4.6.3 Discussion sur la démarche expérimentale.....	159
5 . MODELE DE L'ACTIVITE DES DESIGNERS DANS LA PHASE D'EXPLORATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION.....	161
5.1 PRESENTATION DU MODELE.....	163
5.2 MISE EN ŒUVRE DU MODELE	166
5.2.1 Apport du modèle au développement d'un système d'aide à l'exploration.....	166
5.2.2 Apport du modèle à l'optimisation du processus de conception	168
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	169
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	175
INDEX DES FIGURES.....	185
INDEX DES TABLEAUX.....	187
PRODUCTION SCIENTIFIQUE.....	189
ANNEXES	191

Introduction générale

Objectif et problématique de recherche

Dans un contexte international de concurrence très dure, les acteurs du monde économique se livrent à une bataille de l'innovation. La recherche en génie industriel propose des outils et des méthodes pour favoriser l'innovation tout au long du cycle de vie du produit ; les phases amont sont particulièrement cruciales en terme de succès d'un produit et c'est donc sur les phases amont que les efforts d'amélioration de l'innovation doivent être focalisés. Nous nous positionnons en particulier dans le champ de la conception créative, industrie automobile dans le cas de notre projet ; nos apports peuvent également bénéficier aux industries qui ont un besoin fort de créativité, c'est le cas de l'industrie des interfaces électroniques, de l'électroménager ou de l'architecture, pour citer quelques exemples.

Dans un souci d'améliorer l'innovation dans un temps réduit, depuis une trentaine d'années, le processus de conception s'est numérisé ; les activités de conception sont de plus en plus largement assistées par des outils qui permettent d'améliorer la qualité de la conception, de réduire les temps nécessaires et de travailler avec des équipes implantées sur différents sites. Dans le milieu industriel, on observe que les pratiques évoluent vers l'ingénierie simultanée qui donne plus d'importance aux phases amont de la conception, tandis que la recherche anticipe ces changements en proposant des modèles et des outils qui visent **des phases toujours plus amont**.

Ainsi, l'intérêt de la recherche se déplace vers la phase d'exploration, phase pendant laquelle les concepteurs explorent l'espace-problème (avant la phase de génération, qui consiste à développer des solutions). Le constat est qu'il existe peu d'outils numériques qui aident les concepteurs dans la phase d'exploration, au contraire de la phase de génération pour laquelle il existe depuis presque 30 ans des outils comme la conception-assistée-par-ordinateur (CAO). Notre objectif est de proposer des spécifications pour le développement d'un **outil d'aide à l'exploration**. Pour définir les spécifications d'un tel outil, il est nécessaire de modéliser l'activité des concepteurs dans la phase d'exploration (activité cognitive et pratique professionnelle) et identifier les liens entre cette la phase d'exploration et la phase de génération, qui lui fait suite dans le processus de conception.

Or il n'existe aujourd'hui pas de modèle de la phase d'exploration, en partie parce que l'activité des concepteurs dans cette phase n'est pas explicite, elle repose en grande partie sur l'activité cognitive (invisible) des concepteurs et peu de représentations externes sont disponibles. Mais nous pensons que certaines caractéristiques de la phase d'exploration sont identifiables et que nous pouvons la modéliser comme un flux d'informations, depuis la collecte d'informations inspirationnelles (images) jusqu'à l'externalisation des premières représentations de solutions (esquisses). Notre but est donc de **modéliser la phase d'exploration** et d'identifier le lien entre les informations qui sont manipulées par les concepteurs dans cette phase et les solutions design qui en sont issues. En particulier, nous cherchons à évaluer **comment les informations visuelles impactent la créativité** des concepteurs et ceci afin de développer des outils numériques pour une créativité augmentée.

La démarche que nous avons suivie implique largement des **praticiens du design industriel** ; en effet, notre recherche a été réalisée dans le cadre du projet européen TRENDS qui visait à développer un logiciel de recherche d'images destiné aux designers et qui a été réalisé en partenariat avec des partenaires académiques (University of Leeds, Cardiff University) et industriels (Centro Ricerche FIAT, Stile Bertone, Pertimm, Robotiker). Le LCPI, initiateur et coordinateur du projet, a apporté une expertise sur la modélisation des activités de conception et de design et une expertise sur la méthodologie d'Analyse de Tendances Conjointe.

Nous avons mis en place trois expérimentations à visée descriptive et prescriptible, s'appuyant sur des entretiens avec les designers, des questionnaires et des scénarii de simulation de l'activité de design. Avec cette démarche très ancrée dans le terrain industriel, nous avons modélisé la phase d'exploration du processus de conception en investiguant le rôle du principal support de créativité en design : les ressources visuelles, et en particulier les images que les designers utilisent comme support de leur **raisonnement par analogie**.

Traditionnellement, les designers cherchent les images inspirationnelles dans des magazines professionnels lors de la pratique d'une veille continue ; aujourd'hui Internet est de plus en plus utilisé dans le cadre de la recherche inspirationnelle [EXP.1], mais nous avons montré que les designers doivent adopter des stratégies de contournement pour trouver des images satisfaisantes, notamment en terme de niveau d'abstraction du contenu de l'image (bas-niveau : couleurs, formes..., haut-niveau : émotions, ambiances...) [EXP.2]

Nous avons également mis en évidence que les designers cherchent les ressources visuelles parmi des secteurs précis (architecture, design nautique...) et suivant le secteur d'origine, l'impact des images sur la créativité des solutions proposées varie. En particulier, nous avons

mis en évidence que les sources ‘inter-domaine proche’ favorisent la créativité, en comparaison à des sources ‘intra-domaine’, c’est-à-dire issues du même domaine que la cible de conception. [EXP.3]

Ces expérimentations ont permis d’extraire les besoins des designers en terme de recherche d’images comme support à la créativité, besoins qui ont été interprétés en spécifications pour le développement du logiciel TRENDS. En retour, les quatre séries de tests du prototype de TRENDS avec les designers nous ont permis de valider la pertinence du modèle proposé.

Originalité de la thèse

Cette recherche est originale sur plusieurs plans : le positionnement thématique, la démarche de recherche-action sur un sujet qui implique des phénomènes cognitifs implicites et l’ancrage dans la réalité industrielle.

Tout d’abord, notre recherche se focalise sur la **phase d’exploration du processus de conception**, phase très peu modélisée car difficilement modélisable (non explicite). Ce positionnement dans le processus de conception est en soi une originalité. Quelques laboratoires (PsYCLe à l’Université de Provence, Eiffe2 à l’INRIA...) s’intéressent déjà à la phase d’exploration, en particulier à sa composante ‘créativité’ vue à travers le prisme de la psychologie, mais parmi eux, les laboratoires de recherche en génie industriel sont encore rares (LCPI à Arts et Métiers ParisTech, LUCID à l’Université de Liège...); or ces derniers ont la maturité et la connaissance adéquates pour aborder cette thématique. Des indices (conférences) nous montrent que cette thématique émergente est en plein essor (§ 1.2.3.2).

Notre positionnement est différent de celui des psychologues cognitivistes qui étudient la même thématique que nous ; en effet, nous sommes dans une démarche de **recherche-action sur l’étude de l’activité cognitive en conception** et ceci constitue notre deuxième originalité par rapport aux autres approches adoptées pour étudier l’activité des concepteurs. Etant concepteurs nous-mêmes, nous connectons notre recherche avec les besoins et les enjeux de la conception plus facilement que les psychologues. Nos travaux sont orientés vers des connaissances industrialisables rapidement, dans une recherche constante d’optimisation du processus de conception ; pour illustration, une partie des apports ont donné lieu directement à des spécifications du logiciel d’aide à la conception dans la phase exploratoire TRENDS.

Enfin, cette recherche est fortement ancrée dans la **réalité industrielle** : d’une part, les expérimentations de cette thèse ont été réalisées grâce à l’implication des concepteurs de

FIAT et de Stile Bertone. D'autre part, cette thèse fait suite à une activité professionnelle au sein de Dassault Systèmes, éditeur de logiciels de conception-assistée-par-ordinateur (CAO : CATIA) et de gestion de cycle de vie du produit (PLM : Smarteam). La connaissance des outils numériques d'aide à la conception existants nous permet d'anticiper les évolutions industrielles et de proposer des pistes de recherche innovantes (vers des outils d'aide à l'intégration du design industriel, vers des outils de manipulation d'informations en conception).

Apports de la thèse

Grâce à un travail mené sur le terrain, au sein des entreprises FIAT (Centro Ricerche FIAT) et Stile Bertone, notre recherche propose des avancées qui sont fortement liées à la réalité de la pratique industrielle. Les apports de cette recherche, développés ci-dessous, consistent en un **modèle** de la phase d'exploration du processus de conception de produits et en un **outil** logiciel d'aide à la recherche d'images (TRENDS), développé en partie grâce à ce modèle.

Notre **modèle** décrit la phase amont du processus de conception (phase d'exploration) comme un flux d'informations manipulées cognitivement par les concepteurs. Après la réception d'un cahier des charges, la phase d'exploration consiste largement en un raisonnement par analogies qui s'appuient sur des sources d'inspiration. Notre modèle montre que les sources d'inspiration peuvent être catégorisées en secteurs d'influence et que l'éloignement des secteurs d'avec la cible de conception favorise la créativité des solutions design issues du processus de conception. Ce modèle est destiné à être exploité par les spécialistes de l'intelligence artificielle dans le but de développer des logiciels d'aide à la conception en phase amont. Ce modèle peut également être utilisé pour développer de nouvelles techniques de créativité en conception.

Ce modèle est mis en œuvre dans la réalisation du **logiciel TRENDS**, qui assiste les concepteurs dans la recherche de sources d'inspiration. Le logiciel intègre les besoins des concepteurs dans la phase d'exploration : il permet aux designers industriels, de manière individuelle, de rechercher des sources d'inspiration parmi une base d'images et de manipuler ces images pour en extraire des données utiles à la suite du projet de conception (cartographie sémantico-spatiale...). Pour augmenter la créativité des concepteurs, le logiciel TRENDS donne accès à une base de données de deux millions d'images, structurée en secteurs d'influence, et en sus d'une entrée par mot-clé et par image-clé, l'interface permet d'explorer les ressources visuelles par secteurs d'influence. Le logiciel sera industrialisable en janvier 2009.

Structure du document

Ce document de thèse se divise en cinq parties: Positionnement et enjeux, Etat-de-l'art, Problématique et hypothèses, Expérimentations, Modèle, Conclusion et perspectives.

- Partie 1 : Positionnement et enjeux de cette recherche

Cette première partie donne le positionnement général de notre recherche, par rapport au champ scientifique global et par rapport aux enjeux globaux.

Nous positionnons notre travail au sein de la communauté de recherche du Génie Industriel et de notre laboratoire d'accueil, le LCPI, dont l'objectif est l'optimisation du processus de conception ; nous montrons qu'il existe des connections avec d'autres disciplines, telles que la psychologie cognitive (étude de l'activité de conception) et l'informatique/intelligence artificielle (développement d'outils d'aide à la conception). Nous montrons également que cette recherche se positionne dans un courant de recherche sur la conception et le design industriel, courant en croissance forte dynamisé par de nombreux enjeux économiques, sociétaux et bien sûr scientifiques.

- Partie 2 : Etat-de-l'art : les phases amont du processus de conception et leur numérisation

Dans cette partie, nous détaillons les connaissances existantes qui constituent notre problématique, avec les références bibliographiques associées ; notre problématique propose d'aider la créativité dans les phases amont du processus de conception par des outils numériques, elle comporte donc trois facettes qui sont sciences de la conception (phase amont du processus de conception), sciences cognitives (créativité) et informatique (outils numériques). La partie « état-de-l'art » suit donc cette articulation en trois parties.

Notre état-de l'art vise particulièrement la phase d'exploration du processus de conception, sa dimension créative et sa numérisation. Les modèles et connaissances qui décrivent **la phase d'exploration** sont presque inexistantes, quelques travaux récents identifient les sources d'inspiration qui sont utilisées par les designers dans la phase d'exploration. Et une seule méthode, à notre connaissance, propose une vision organisée de la phase d'exploration : la méthode d'**Analyse de Tendances Conjointe** assiste les concepteurs dans la collecte et la manipulation de sources d'inspiration, pour créer des représentations externes (planches de tendances, par exemple) utiles à la conception. Un objectif majeur de la phase d'exploration est, pour les concepteurs, de fournir des propositions créatives. Nous investiguons donc la

dimension créative de la phase d'exploration et en particulier les opérations du **raisonnement par analogie**. Puisque nous cherchons à augmenter la créativité des concepteurs, il faut être capable de mesurer cette créativité : nous voyons quels critères sont utilisés pour **l'évaluation de la créativité** dans un contexte de conception. Enfin, notre but étant de proposer un outil d'aide à l'exploration, nous regardons quels outils numériques existent déjà. Il existe aujourd'hui peu de **logiciels**, comme il existe peu de modèles, mais on perçoit un intérêt grandissant pour le développement d'outils d'aide aux phases amont et des chercheurs, de plus en plus nombreux, formulent des recommandations quant aux caractéristiques que devraient intégrer des outils numériques d'aide à l'exploration en conception.

- Partie 3 : Problématique et hypothèses de modélisation

L'état-de-l'art a montré la nécessité de modéliser la phase d'exploration pour pouvoir développer des outils numériques d'aide à la créativité en conception.

Afin de développer des outils numériques d'aide aux concepteurs, il est nécessaire d'identifier les informations d'entrée de la phase d'exploration et de trouver quelles sont les variables caractéristiques qui permettent d'augmenter la créativité résultant de cette phase. Nous formulons l'hypothèse que la phase d'exploration peut être représentée comme un système d'informations collectées et manipulées cognitivement par les designers. D'autre part, nous proposons de tester l'idée que ce système d'informations peut être influencé de manière à augmenter la créativité des solutions proposées dans la phase de génération : nous imaginons que les informations visuelles utilisées dans la phase d'exploration peuvent être structurées en secteurs d'influence et que l'éloignement des secteurs avec la cible de conception, en stimulant le raisonnement par analogie, augmente la créativité des solutions proposées par les concepteurs.

- Partie 4 : Expérimentations

Les hypothèses formulées plus haut sont testées dans une campagne d'expérimentations réalisées avec des designers professionnels de FIAT et de Stile Bertone. Des entretiens et des questionnaires imprimés nous permettent de décrire à un niveau macroscopique le processus de conception au sein de FIAT et de Stile Bertone, et en particulier la phase d'exploration. Ensuite, une campagne d'expérimentation met en évidence les caractéristiques des sources que les designers jugent inspirationnelles, et permet en particulier de comparer l'utilisation de sources d'inspiration « traditionnelles » (magazines) et numériques (sites web). Enfin, une

dernière expérimentation propose de simuler la phase d'exploration jusqu'à la formalisation de solutions-design et de tester l'impact de l'éloignement entre secteur inspirationnel et cible de conception sur la créativité des solutions proposées.

- Partie 5 : Modèle de l'activité des designers en amont du processus de conception

Les expérimentations ont permis de caractériser la phase d'exploration en termes d'informations d'entrée et d'impact sur la phase de génération. Nous proposons de modéliser la phase d'exploration sous la forme d'un système de flux d'informations dans lequel les opérations sont réalisées cognitivement par les concepteurs. Les informations de sortie sont les solutions design proposées par les concepteurs, dont la caractéristique majeure est le niveau de créativité. Nous mettons en évidence que ce niveau de créativité est fonction de la distance entre le secteur de référence du concepteur et le secteur duquel le concepteur extrait des informations inspirationnelles.

Enfin, nous concluons notre document par une synthèse des apports de cette recherche et les perspectives de recherche.

1 .

Positionnement et enjeux

Introduction

Dans cette première partie, nous présentons le positionnement de nos travaux de recherche au sein de la communauté scientifique et les enjeux que représente une recherche en génie industriel, et plus particulièrement en conception de produits.

Nous positionnons d'abord notre travail dans le monde scientifique : cette thèse est réalisée dans le champ du génie industriel, dont nous proposons de rappeler quelques définitions. Nous rappelons ensuite quels sont les travaux de recherche engagés par le laboratoire Conception de Produits et Innovation, laboratoire d'accueil de cette recherche, dont l'objectif global est l'optimisation du processus de conception de produits. Enfin, nous montrons comment notre recherche a pour originalité d'établir des ponts avec d'autres disciplines de recherche, telles que la psychologie cognitive ou les sciences de l'information. → § 1.1

Dans une deuxième partie, nous revenons sur les enjeux d'une recherche en conception de produits, aussi bien sur le plan économique que sur le plan scientifique. D'une part, la recherche en génie industriel est un levier important d'innovation et donc de développement économique, tout en permettant de veiller à ce que le développement industriel intègre l'Humain ; à ce titre, cette recherche peut donc intéresser les acteurs du monde socio-économique et le grand public. D'autre part, notre recherche explore des thématiques scientifiques émergentes (design industriel) et pluridisciplinaires (cognition du design); ces thématiques étant encore peu abordées en France, alors qu'elles le sont de plus en plus à l'étranger, elles ne manqueront pas d'attirer l'attention de la communauté de recherche en génie industriel. → § 1.2

1.1 Positionnement scientifique : génie industriel et multidisciplinarité

1.1.1 *Génie industriel et sciences de la conception*

Selon l'American Institute of Industrial Engineers:

*Le **génie industriel** englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés. Il utilise les connaissances provenant des sciences mathématiques, physiques et sociales, ainsi que les principes et méthodes propres au "génie" ou, à l'art de l'ingénieur, dans le but de spécifier, prédire et évaluer les résultats découlant de ces systèmes.*

Le Génie Industriel est une activité apparue avec l'ère industrielle, alors que la recherche en génie industriel est plus récente, avec une introduction en France vers les années 80. Le génie industriel englobe la conception, l'amélioration et l'installation de systèmes intégrés, en utilisant les principes et méthodes des sciences pour l'ingénieur ainsi que des connaissances issues des sciences mathématiques, physiques et sociales ; il vise à l'optimisation des performances globales de l'entreprise.

L'ingénierie désigne l'ensemble des activités allant des études de conception jusqu'à la réalisation de l'objet d'un contrat (ouvrage, unité industrielle, système équipement) par une société spécialisée (maître d'œuvre) pour un client (maître d'ouvrage). Le génie industriel recouvre un grand nombre de phases (conception, études, achat...) et de métiers (mécanique, électricité, architecture...), avec un environnement et des contraintes spécifiques (budget, planning, qualité...), pour des secteurs d'application variés (énergie, papeterie, construction mécanique...).

Notre recherche a pour cadre académique le Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI), au sein de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Comme l'explique le dossier scientifique du laboratoire [LCPI, 2004], à sa création en 1973, le laboratoire a orienté ses recherches sur la thématique des méthodes industrielles. Les méthodes industrielles et la conception de produit constituent la réflexion majeure du LCPI. Au sein du LCPI, nous entendons par conception de produit une conception globale qui prend en compte à la fois les impératifs mécaniques, d'usages, esthétiques, les attentes de l'utilisateur et les contraintes des systèmes de production sur l'ensemble du cycle de vie du produit. Les sociétés industrielles ont évolué d'une consommation de masse à une consommation de variété qui se traduit par une diversification de l'offre, impliquant l'adéquation des

produits aux besoins, la personnalisation de produits, la convivialité dans les usages; ce contexte influence fortement les thématiques de recherche en conception.

Le LCPI s'intéresse à la conception de produits en tant que passage d'un état immatériel (idée, concept...) à un état matériel du produit (plan, maquette...), disponible sur le marché. Ce processus doit être maîtrisé pour respecter des contraintes de budget, de délai et de qualité du produit (fonctionnalités, critères esthétiques, coûts...) et cette maîtrise passe nécessairement par une **compréhension** et une **formalisation** du processus de conception et d'innovation. Le rôle crucial des représentations intermédiaires est explicité plus en détail par [Mer et al., 1996] ou [Tichkewitch et al., 2001].



Figure 1 : Le processus de conception : une concrétisation croissante, de l'idée au produit

Notre recherche se positionne en particulier sur la phase amont du processus de conception ; pour nous, la phase amont correspond à la phase d'exploration, c'est à-dire entre le moment où les concepteurs reçoivent un cahier des charges de conception et le moment où émergent les premières représentations externes, sous la forme d'esquisses dans le cas des designers.

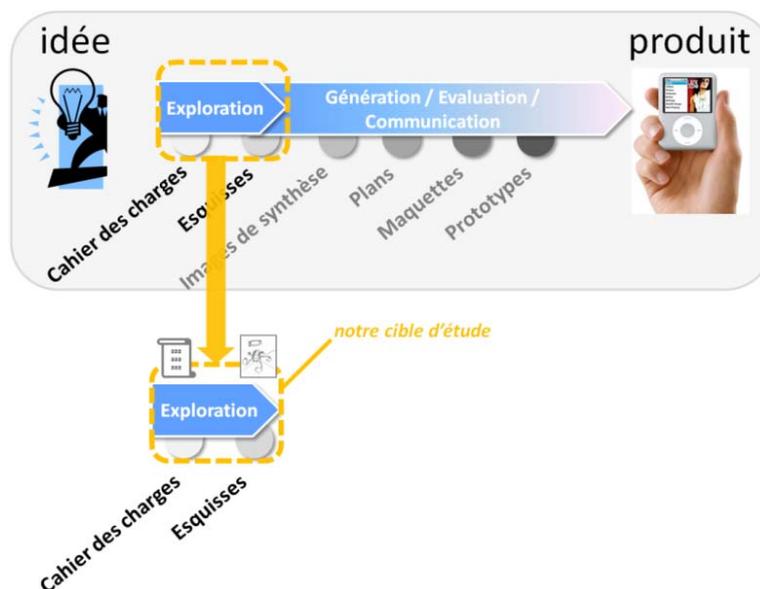


Figure 2 : notre recherche cible la phase d'exploration et la transition avec la phase de génération

1.1.2 Vers l'optimisation du processus de conception

Les recherches au LCPI se sont progressivement structurées autour du thème d'optimisation du processus de conception et d'innovation, avec pour objectif de construire des **modèles théoriques de processus liés à l'activité de conception de produit**. Ces modèles sont évalués dans un contexte applicatif, la plupart du temps en lien très étroit avec différents acteurs du monde socio-économique, en particulier industriel. De l'évaluation de ces modèles, nous validons des connaissances, méthodes et outils. L'intégration de ces connaissances par la construction d'un modèle générique en vue de leur optimisation contribue à une dynamique d'avancée scientifique et de progrès industriel. La création industrielle est caractérisée par l'implication de plusieurs métiers (ingénierie, ergonomie, design...) qui doivent en permanence apprendre à travailler ensemble harmonieusement pour concourir à la conception d'un produit industriel réussi. Le LCPI travaille dans une démarche de recherche pluridisciplinaire centrée à la fois sur le processus de conception et sur le produit [Simon, 1969], et orientée vers l'innovation. La recherche ainsi caractérisée s'appuie sur l'intégration de nouveaux métiers et de nouvelles technologies, dans le but d'optimiser le processus de conception et de développer des méthodes et outils transférables. La recherche du LCPI vise à la production et à la formalisation de connaissances qui contribuent à améliorer les processus de conception et d'innovation.

Dans notre cas, la recherche porte particulièrement sur la caractérisation du processus de conception, avec pour hypothèse forte que de certaines caractéristiques du processus de conception dépendent les caractéristiques du produit conçu. Pour exemple, le LCPI travaille depuis plusieurs années sur la créativité en conception et préconise des méthodologies de créativité visant à la conception de produits innovants, l'idée étant qu'un processus de conception intégrant des méthodologies de créativité aboutira à des produits plus réussis [LCPI, 2004]. La caractérisation du processus de conception est nécessaire à son optimisation.

Le thème fédérateur du laboratoire d'**optimisation du processus de conception et d'innovation** est décliné en trois orientations de recherche, représenté sur la figure ci-dessous

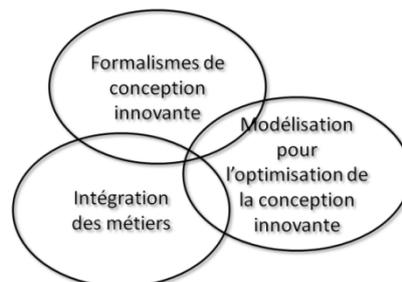


Figure 3 : Axes de recherche du Laboratoire Conception de Produits et Innovation [LCPI, 2004]

Comme la plupart des travaux réalisés au LCPI, notre travail de recherche concerne chacun des trois axes. Mais notre contribution sera particulièrement forte sur l'axe **intégration des métiers en conception** dans le sens où nous cherchons à modéliser et intégrer les connaissances, compétences et règles expertes relatives au métier du **design industriel**. Le but est de faciliter la collaboration avec les métiers du design au sein des projets de conception. En effet, notre projet cherche à modéliser l'activité des concepteurs, et plus particulièrement des concepteurs qui interviennent dans les phases amont ; dans notre cas d'application de conception automobile (projet TRENDS), les concepteurs sont en l'occurrence des équipes mixtes de conception composées de designers, d'ingénieurs et de marketeurs.

Notre recherche concerne également le thème de **formalismes de conception innovante** puisque nous cherchons à produire des spécifications pour des **outils informatiques** de support à l'activité de conception. Nous verrons que le but de notre projet d'application (projet TRENDS) est de produire un moteur de recherche d'images qui permet la recherche et des opérations intelligentes sur les images, dans un contexte dédié au design. Avec cet outil informatique, les professionnels concernés par les phases de recherche d'inspiration ou de tendances en conception peuvent générer des représentations graphiques utiles à la conception, telles que des cartographies sémantiques ou des planches de tendances.

D'autre part, cette thèse contribue aux travaux initiés par le LCPI, depuis l'origine sur la modélisation du processus de conception [Aoussat, 1990] [Vadcard, 1996], et depuis une dizaine d'années sur la modélisation des activités de conception, et en particulier, elle fait suite à la thèse de [Bouchard, 1997] sur la modélisation du processus de design industriel à partir de l'analyse des activités des designers dans le secteur automobile, thèse qui est à l'origine de la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe.

1.1.3 *Des connections avec d'autres disciplines scientifiques*

Dans de nombreuses activités de recherche, plusieurs disciplines scientifiques tendent à se rejoindre autour d'une thématique commune. En particulier, on observe souvent une association productive entre sciences dures/ingénierie et sciences humaines. Un exemple de plus en plus courant est le développement d'interfaces hommes-machines innovantes pour lesquels travaillent ensemble des spécialistes de l'ingénierie logicielle et des spécialistes des facteurs humains.

Dans notre cas, le terrain de recherche est le génie industriel : nous sommes concepteurs, nous travaillons avec les concepteurs et pour les concepteurs. Nous travaillons avec une approche de **recherche-action** : comme nous le décrivons sur la figure suivante, un terrain expérimental réel (la

conception au sein d'entreprises industrielles) nous apporte la matière à la modélisation du processus cognitif en conception.

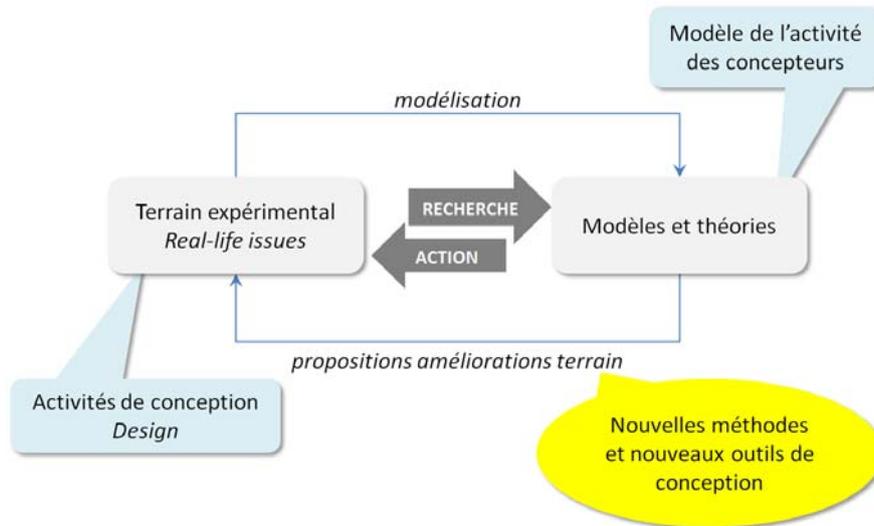


Figure 4 : Boucle de recherche-action : modélisation et retours terrain

Ensuite, puisque nous souhaitons décrire l'activité des concepteurs, nous abordons le sujet avec des outils qui nous viennent des sciences humaines, en particulier de la **psychologie cognitive** : nous préparons des protocoles de tests impliquant des sujets humains, en l'occurrence des designers, et nous cherchons à décrire une activité et à modéliser le processus cognitif en conception. Enfin, nous faisons appel aux **sciences de l'information** et contribuons à des développements informatiques particulièrement innovants : nous proposons des spécifications pour le développement d'outils computationnels d'assistance à la conception et nous veillons à ce que ces outils soient développés en respectant l'activité cognitive naturelle des concepteurs.

Ainsi, notre recherche centrée sur le génie industriel intéresse un terrain pluridisciplinaire qui réunit le génie industriel, les sciences cognitives et les sciences de l'information.

1.1.3.1 Psychologie cognitive et créativité

La psychologie cognitive étudie les grandes fonctions psychologiques de l'être humain que sont la mémoire, le langage, l'intelligence, le raisonnement, la résolution de problèmes, la perception ou l'attention. Plus généralement la cognition se définit comme l'ensemble des activités mentales et des processus qui se rapportent à la connaissance et à la fonction qui la réalise. L'**activité cognitive des concepteurs** recouvre donc toutes les opérations mentales réalisées consciemment ou inconsciemment par les concepteurs pendant leurs activités de conception.

Nous pensons qu'il n'est possible d'optimiser le processus de conception que si la compréhension de l'activité de conception est suffisamment avancée. Or la conception est une activité humaine qui donc implique des caractéristiques humaines intangibles, telles que la cognition et les émotions. Notre but ici n'est pas de réaliser des études psychologiques des concepteurs mais plutôt de capter les éléments majeurs de leur activité cognitive en lien avec la conception. Dans le cadre d'une recherche-action où l'expérimentateur est lui-même concepteur, il est plus aisé de juger de la pertinence de telle ou telle étude sur l'activité de conception, en termes d'utilité pratique pour le terrain industriel.

Par exemple, les images ont un rôle majeur dans la conception, il est intéressant d'observer l'utilisation des images par les concepteurs et de voir quel est l'impact des images sur le processus cognitif des concepteurs, tout en gardant à l'esprit un objectif opérationnel de facilitation et d'optimisation de l'activité de conception.

La psychologie cognitive part du principe que l'on peut proposer des représentations, des structures et des processus mentaux à partir de l'étude du comportement. Au contraire du béhaviorisme, elle défend que la psychologie est l'étude du mental et non du comportement. D'autre part, la psychologie cognitive se distingue du behaviorisme en créant des **observables** [Bisseret et al., 1999]. Il s'agit pour nous, expérimentateurs, de créer des observables, des traces tangibles de l'activité mentale des concepteurs lors du processus de conception.

De plus, la psychologie cognitive utilise préférentiellement l'**expérimentation** et les mesures comportementales qui comprennent notamment la mesure de temps de réaction ou du temps nécessaire à une opération (temps de réalisation de la tâche, temps d'exposition en lecture), la précision de la réponse (taux de bonnes ou mauvaises réponses), ou même l'oculométrie cognitive ou des données physiologiques (imagerie fonctionnelle).

Certains chercheurs se consacrent à l'étude de l'architecture cognitive, c'est-à-dire à l'étude des différents « modules » qui prennent en charge les grandes fonctions de la cognition (mémoire de travail / mémoire à long terme, mémoire sémantique / mémoire épisodique...). D'autres travaux s'emploient à décrire les stratégies mises en place par les individus pour traiter diverses tâches : tâches de la vie quotidienne, tâches de résolution de problème, prise de décision, tâches professionnelles (ex : diagnostic médical, contrôle aérien). En étudiant l'activité des concepteurs, notre recherche est typiquement un cas d'**étude des stratégies** mises en place par des individus dans le cadre de leur activité professionnelle, en l'occurrence activité de conception.

En somme, comme [Lawson, 2006] intitulait un de ses ouvrages (*How Designers Think - The Design Process Demystified*), il s'agit de **démystifier le processus de conception**, de révéler des processus difficiles à appréhender car implicites et cachés, et pour cela, nous devons suivre une approche inspirée de la psychologie cognitive et basée sur l'expérimentation, la mise en situation des concepteurs et l'observation.

1.1.3.2 **Sciences de l'information**

Les sciences de l'information sont des sciences interdisciplinaires principalement concernées par la collection, le classement, la manipulation, le stockage, la recherche et la diffusion d'informations. Elles étudient l'application et l'usage des connaissances dans les organisations, et l'interaction entre les gens, les organisations et les systèmes d'information. Elles touchent à la fois l'informatique, mais aussi les technologies de l'information et de la communication, les sciences cognitives et les sciences sociales.

Dans notre recherche, nous considérons le processus de conception de produits comme un système de flux d'informations ; en effet, tout au long de la conception, les concepteurs manipulent des informations de tout type, des informations visuelles lorsqu'ils feuilletent des magazines professionnels, des connaissances issues de projets antérieurs... Ces informations aident les concepteurs à formaliser leurs idées jusqu'au produit. Pour optimiser le processus de conception, il est nécessaire que **les concepteurs accèdent aux bonnes informations au bon moment**. Dans ce but, notre projet d'application (TRENDS) est le développement d'un moteur de recherche d'images adapté aux besoins spécifiques des concepteurs dans la phase « inspirationnelle ».

Nous pensons que le processus de conception peut être décrit comme un **traitement cognitif de l'information par le concepteur** [Simon, 1969]. Cette vision est cohérente avec la notion de modèles computationnels de la conception (*design computational models*) [Gero, 2000]. La connaissance du processus de conception et des flux inhérents à l'activité cognitive des concepteurs est indispensable pour développer des outils informatiques pour les concepteurs, tels que des logiciels de gestion des connaissances en conception (*knowledge management*) et des logiciels d'assistance à la conception (*computer-aided design*).

Notre recherche, positionnée en génie industriel de par ses objectifs, ses acteurs et ses méthodes, revendique des connections avec les sciences cognitives et l'informatique. L'optimisation du processus de conception en général, et notre recherche en particulier, s'appuient sur une démarche multidisciplinaire, illustrée par la figure ci-dessous.

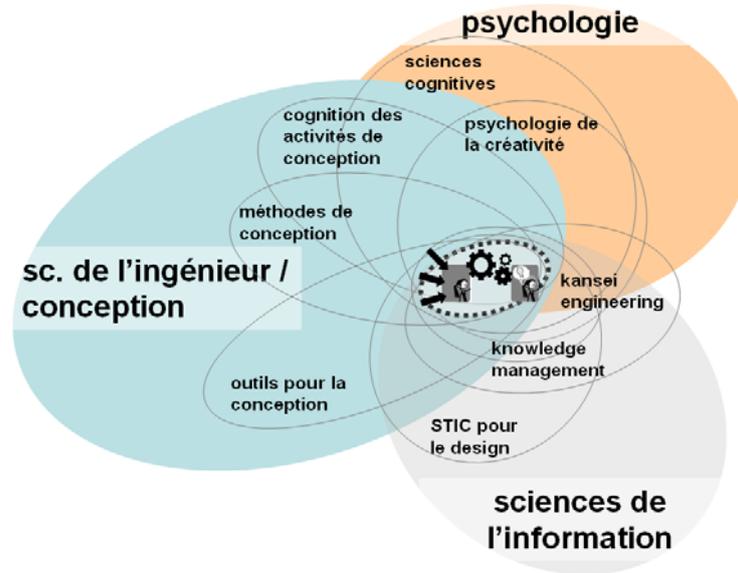


Figure 5 : Disciplines de recherche concernées par nos travaux

Ces trois facettes de notre recherche donnent l'articulation de notre chapitre sur l'état-de-l'art ; le code couleur de la figure ci-dessus est repris dans les figures introductives aux chapitres de l'état-de-l'art.

1.1.4 Conclusion sur notre positionnement

Pour résumer, notre recherche se positionne au sein du Génie Industriel, principalement de par l'objectif poursuivi d'optimisation du processus de conception de produits et d'innovation. De surcroît, notre terrain expérimental dans le cadre du projet TRENDS est constitué d'entreprises industrielles spécialisées dans la conception automobile, FIAT et Stile Bertone, ce qui conforte un positionnement en sciences pour l'ingénieur.

Au sein du génie industriel, une originalité de cette thèse est la connexion réalisée avec d'autres disciplines de recherche telles que la psychologie cognitive et les sciences de l'information. La psychologie cognitive nous apporte des outils d'observation et d'analyse de l'activité humaine, dans notre cas l'activité de conception. Les sciences de l'information supportent une approche de modélisations de flux d'informations, en particulier des informations utilisées et produites par les concepteurs lors du processus de conception de produits.

Ce terrain pluridisciplinaire est particulièrement visible dans notre projet d'application TRENDS (décrit dans la partie 4. Expérimentations), pour lequel des partenaires de plusieurs disciplines (design, psychologie, informatique) travaillent conjointement, sur un terrain industriel qui assure l'adéquation de notre recherche avec la réalité socio-économique.

1.2 Enjeux de cette recherche : compétitivité économique, éthique et design industriel

1.2.1 *Enjeu économique : Soutenir la compétitivité économique par le design*

L'actualité économique nous rappelle chaque jour que la mondialisation impose aux acteurs économiques de la planète d'être toujours plus performants et que la survie économique d'une entreprise ou d'un pays dépend principalement de sa capacité à innover et à entreprendre des recherches. Si l'on s'appuie sur une vue systémique de l'entreprise, notre recherche touche aux cadres de la créativité (créativité du concepteur) et à la technologie (produits conçus et systèmes d'aide à la conception).

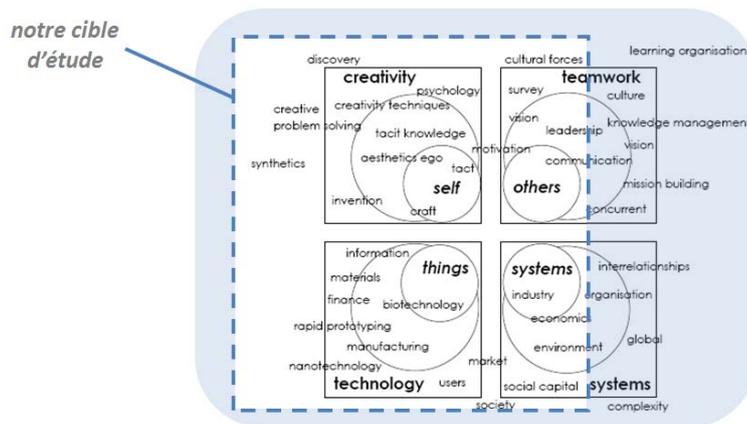


Figure 6 : Positionnement de notre étude dans la sphère de l'entreprise, d'après [Sharma, 2002]

La conception de produits nouveaux est au cœur des stratégies d'innovation et en 1990, les chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) formulaient déjà cette recommandation dans le rapport « Made in America », cité par [Perrin, 1999] :

*La **conception** (Engineering Design) est le facteur clé du processus de développement de produit. La capacité à développer de nouveaux produits de haute qualité, de faible coût, qui correspondent aux demandes des utilisateurs est essentielle pour augmenter la compétitivité d'une nation.*

Les entreprises qui réussissent aujourd'hui sont celles qui font largement appel à la conception innovante, en menant une politique volontariste d'intégration du design dans l'entreprise (Apple, Philips), ou en consacrant des budgets importants à la recherche, en particulier à la recherche en design (Toyota, Samsung). La démarche d'intégration du design dans les entreprises est moins

développé en France qu'au Japon (Toyota) ou aux Pays-Bas (Philips), encore plus en ce qui concerne la **recherche en design**; or la recherche en design est un des outils indispensables de la « bataille de la connaissance » pour rester dans la course face aux puissances émergentes comme la Chine et l'Inde (qui d'ailleurs ont déjà compris l'importance du design, en débauchant les spécialistes de l'enseignement et de la recherche en design européens et américains et en créant de nombreux centres d'enseignement en design associés à des écoles étrangères).

D'autre part, il existe des biais culturels propres à la France qui poussent à associer le design à l'aspect esthétique des produits (« le design, c'est un canapé Ligne Roset ») alors que partout ailleurs dans le monde, l'acception « design » englobe naturellement des concepts tels que ergonomie, ingénierie, utilisateurs, qualité, performance, éco-conception...

En France, la recherche a été initiée par quelques pionniers (Danielle Quarante) dans les années 80 et on note aujourd'hui l'émergence de réseau de chercheurs en design comme les Ateliers de la Recherche en Design, ou la réalisation d'études sur le design en France. Dans une étude commandée par le Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi [MEIE, 2007], on voit comment le design est soutenu par les pouvoirs publics et utilisé par les entreprises dans différents pays. Ce texte dresse un état des lieux du design en France et dans 7 pays où la politique de design est très forte (Danemark, Royaume-Uni, Corée du Sud, Japon, Finlande, Pays-Bas...). Quelques extraits montrent l'intérêt que suscite le design au sein des entreprises:

*[...] les entreprises usant de manière intensive du **design** [...] ont deux fois plus de probabilités d'avoir développé de **nouveaux produits et services** que les autres. [MEIE, 2007] (page 14)*

*[...] parmi les entreprises étudiées, celles ayant eu **recours au design** avaient vu leur **chiffre d'affaires** croître de 22% de plus que celles n'y ayant pas eu recours sur les cinq années de la durée de l'étude. [MEIE, 2007] (page 14)*

L'étude dresse une liste de recommandations qui vise à aider à la performance des entreprises en France. On note que la recherche en design est vue comme un levier de la performance économique :

*Il est indispensable de **reconnaître la recherche en design en France**, sinon en créant une section de recherche design, en tout cas en faisant **émerger une communauté de chercheurs en design**. [MEIE, 2007] (page 138)*

D'autre part, des initiatives régionales ont également pour but de soutenir la croissance de l'activité de design, telles que les pôles de compétitivité ou les clusters.

*Paris, un cluster design : La Ville soutiendra la création de deux nouveaux clusters de dimension mondiale, l'un consacré au design et aux métiers de la création [...]. Ils font partie d'un **programme en faveur de l'innovation évalué à un milliard d'euros durant la mandature.** [Design Fax, 26.05.2008]*

Nous nous positionnons dans ce courant très fort de croissance de la recherche en design en France, les acteurs économiques français prenant de plus en plus conscience que la recherche en design est un outil incontournable du succès économique des entreprises et du pays.

1.2.2 Enjeu sociétal : Développer des produits respectueux de l'humain et de la société

En réponse à la surproduction industrielle et à ses conséquences négatives (pollution environnementale, impacts sociaux liés aux délocalisations), les consommateurs des pays industrialisés ont entrepris depuis quelques années une démarche réflexive visant à une nouvelle éthique de consommation. En parallèle de cette tendance, la recherche en génie industriel et en conception se doit de veiller à une éthique de la conception, en intégrant des données qui jusqu'aux années 90 intéressaient peu les ingénieurs-concepteurs :

- Anticipation de la fin de vie d'un produit pour un développement durable
- Prise en compte réaliste des besoins pour un juste-nécessaire de production
- Prise en compte de l'usage pour des produits accessibles au plus grand nombre (*universal design*)

Quelques pionniers ont mis ces sujets sur le devant de la scène de la conception, à l'instar du designer, architecte et théoricien autrichien Victor Papanek (1927-1999), fervent défenseur d'un design responsable d'un point de vue écologique et social :

Design has become the most powerful tool with which man shapes his tools and environments (and, by extension, society and himself). [Papanek, 1971]

Plus récemment, Thierry Kazazian, fondateur de l'agence d'éco-conception O2 France, publiait « Il y aura l'âge des choses légères » [Kazazian, 2003], réflexion sur les produits qui envahissent notre environnement et qui pourraient être légers et durables s'ils étaient conçus en pensant à l'humain. Dans ce livre-manifeste sur le futur du design, Kazazian propose des pistes de conception à l'usage des concepteurs, pour une meilleure qualité de vie des utilisateurs.

Alors que de nombreux verrous technologiques ont été levés, on observe donc une tendance à **intégrer la dimension humaine** dans le champ du génie industriel. Le génie industriel est à la source de notre environnement, aujourd'hui largement constitué d'artefacts manufacturés, de nos moyens de transport à nos habitats, de nos outils de travail à notre équipement sportif. Pour concevoir un environnement adapté et durable, il est donc important de tenir compte à la fois des problématiques techniques relevant traditionnellement de l'ingénierie, mais également des problématiques humaines. On voit donc que le génie industriel en général, et la conception de produits en particulier, sont fortement liés aux évolutions de la société et aux grands débats sociétaux et c'est par le génie industriel que se fait le lien entre l'environnement et l'humain.

Ces enjeux justifient la montée en puissance des disciplines liées à la conception qui intègrent le facteur humain, telles que design et ergonomie. La pluridisciplinarité en conception est donc une clé de l'innovation.

1.2.3 **Enjeu scientifique : Fournir outils et méthodes aux designers par l'étude de leur activité**

1.2.3.1 **Historique des recherches sur l'activité de conception**

Herbert Simon (1916-2001), chercheur américain considéré comme le père de nombreuses disciplines scientifiques modernes (intelligence artificielles, sciences de la décision...), a été un des premiers à s'intéresser à la modélisation des activités de conception. Dans « Les sciences de l'artificiel » [Simon, 1969], il décrit la conception comme un système complexe qui vise à résoudre un problème mal-défini (*ill-defined problem*) ; son approche systémique n'oublie pas de prendre en compte le rôle du concepteur dans le processus de conception. De la même manière, Donald Schön, dans son livre « The Reflective Practitioner » [Schön, 1983, 1992], décrit l'activité de conception et se focalise sur le rôle du concepteur en décrivant la conception comme une conversation du concepteur avec lui-même. Ces deux théoriciens ont « lancé » le mouvement de recherche sur la conception.

A partir des années 90, l'activité de conception est devenue un sujet d'étude à part entière et un des premiers événements marquants cette tendance est l'organisation du « Delft Protocol Workshop », symposium qui proposait aux chercheurs de travailler avec leurs méthodes et leurs idées respectives sur l'analyse d'une séance de conception filmée et dont les actes ont été réunis dans un ouvrage [Cross, Christiaans, Dorst, 1996]. Depuis, les travaux sur le sujet font l'objet de publications dans les circuits scientifiques reconnus.

1.2.3.2 **Une thématique de recherche que se réapproprient les laboratoires de conception**

Aujourd'hui, les activités de conception et de design sont principalement étudiées par la communauté des psychologues : Nathalie Bonnardel à l'Université de Provence, Gerard Fisher à Colorado University in Boulder, Willemien Visser et Françoise Detienne à l'INRIA ... Une tradition d'observation de l'activité a conduit naturellement la communauté de psychologie vers l'observation des activités de conception. Pour les chercheurs en psychologie, la perspective de telles recherches est la modélisation de mécanismes cognitifs, en particulier de la créativité.

Dans une moindre mesure, l'étude des activités de conception intéresse les laboratoires de recherche en conception : Département de design industriel à TU Delft, LCPI à Arts et Métiers ParisTech. La science de la conception gagnant en maturité, les laboratoires de conception se sont réappropriés des thèmes qui relèvent naturellement du champ de la conception, tout en conservant des connexions fortes avec d'autres disciplines comme la psychologie ou l'informatique. Le fait de trouver une palette étendue de compétences au sein d'une même entité est encore peu répandu mais tend à se développer pour être capable d'aborder des thématiques par essence multidisciplinaires. L'association de compétences de différentes communautés est d'ailleurs un des points forts du laboratoire CPI. Avec la même vision de la recherche en conception, le laboratoire LUCID (Lab for User Cognition and Innovative Design) de l'Université de Liège réunit architectes et psychologues cogniticiens pour mener des travaux sur la modélisation de l'activité de conception architecturale et le développement d'outils d'aide à la conception architecturale.

Les laboratoires de recherche en conception travaillent sur la modélisation des activités de conception dans une optique différente des laboratoires de psychologie : leur perspective majeure est d'appliquer la connaissance de l'activité de conception au développement d'outils logiciels d'aide à la conception, dans un but global d'optimisation du processus de conception de produits.

La carte ci-dessous permet au lecteur de visualiser les pôles de recherche très actifs sur notre thématique, la **modélisation de l'activité des designers pendant la phase d'exploration** en conception de produits. Ces équipes sont spécialisées en sciences de la conception de produits ou conception architecturale (*engineering design, design science*), cognition du design (*design cognition, design thinking*) ou informatique pour la conception (*design computation, artificial intelligence for design*).



Figure 7 : Carte (non exhaustive) des laboratoires étudiant les activités de conception

On note différents courants de pensée : « L'école japonaise », très influencée par les recherches en Kansei (Nagamachi, Harada, Yamanaka), adopte une approche où la cognition est un des facteurs mesurables de la conception, d'où le recours fréquent à des équipements sophistiqués de neurosciences (ex : électroencéphalogramme) dans l'étude des activités de conception. En Europe ou en Amérique du Nord, le clivage entre conception et cognition est encore fort, mais les transferts méthodologiques d'une discipline à l'autre tendent à être plus fréquents (ex : labo LUCID mélangeant architectes et ergonomes cogniticiens ou la TU Delft / Industrial Design réunissant ingénieurs, designers et psychologues).

La communauté spécialisée sur la thématique de modélisation de l'activité cognitive des designers est encore peu nombreuse mais en croissance. D'ailleurs, des conférences internationales dédiées à cette thématique commencent à apparaître ; en effet, en sus des grandes conférences « classiques » sur la conception (ICED - International Conference on Engineering Design, IASDR - Conference by the International Association of Societies of Design Research, The International Conference by The Design Society...), les chercheurs en conception sont de plus en plus nombreux à participer à : Design Thinking Research Symposium (depuis 1997), DCC - Design Computing and Cognition (depuis 2004), Studying Designers (depuis 2005), ou encore National Science Foundation International Workshop on Studying Design Creativity (depuis 2008). Ces événements scientifiques confirment l'essor des

recherches sur les activités de conception au sein de la communauté internationale du génie industriel.

Conclusion de la partie 1

Nous sommes convaincus que la conception est un formidable outil de d'essor économique, aussi bien qu'un outil d'amélioration de notre environnement et du bien-être humain. Les recherches en génie industriel sur la conception paraissent donc absolument pertinentes.

Sur le plan scientifique, la thématique que nous abordons est émergente, l'activité de conception étant étudiée depuis une dizaine d'années seulement ; en conséquence, la bibliographie disponible sur le sujet n'est pas très abondante, ce qui rend notre recherche originale et passionnante.

2. Etat-de-l'art : la phase d'exploration du processus de conception

Introduction

Par rapport à la thématique de recherche de notre laboratoire, l'optimisation du processus de conception, notre positionnement vise particulièrement la phase amont de la conception. L'objectif de notre état-de l'art est d'avoir une vision des travaux réalisés sur les phases amont du processus de conception afin de trouver un positionnement original de notre problématique et de collecter les connaissances utiles à la réalisation de nos expérimentations. Nous décrivons ici les travaux existants relatifs à notre problématique qui est d'assister les phases amont en conception par la numérisation du processus, avec une perspective d'amélioration de la créativité.

Cette problématique comportant plusieurs facettes scientifiques, notre recherche doit s'appuyer sur une approche pluridisciplinaire combinant les connaissances du génie industriel, génie informatique et sciences cognitives. Ainsi dans notre recherche bibliographique, nous approchons « les phases amont du processus de conception » sous ces différents angles, comme le montre la figure ci-dessous listant les principales revues scientifiques que nous avons sélectionnées pour notre recherche bibliographique.

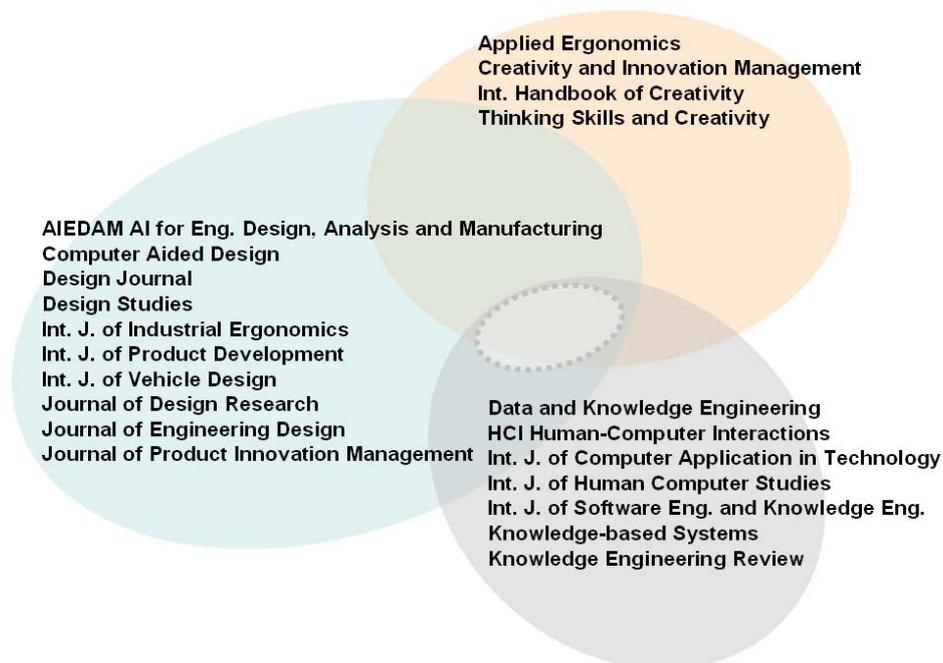


Figure 8: Les sources de notre bibliographie, au carrefour du génie industriel, de la psychologie et de l'informatique

De nombreux travaux en génie industriel ont visé à modéliser le **processus de conception de produit** dans sa globalité et à lister les grandes étapes. Nous verrons que la phase d'exploration est un pan du processus de conception qui reste peu exploré. → § 2.1

La **phase d'exploration** commence avec la réception d'un cahier des charges et se transforme en phase de génération avec la production des premières représentations intermédiaires (esquisses) ; nous verrons que les concepteurs utilisent largement des sources d'inspiration mais que le rôle des ces dernières n'est pas encore explicité ni modélisé. Un premier pas vers cette modélisation est la méthodologie d'**Analyse de Tendances Conjointe** qui vise à formaliser les tendances, à une étape intermédiaire entre les sources d'inspiration et les solutions design → § 2.2

Conception et **créativité** sont fortement liées ; notre objectif est de trouver les leviers d'amélioration de la créativité en conception. De nombreux modèles de la créativité existe, nous verrons en particulier comment le raisonnement par analogie opère et aboutit à l'émergence de nouveaux concepts. D'autre part, il existe un besoin fort en conception d'évaluation de la créativité, nous présenterons les critères possibles d'évaluation. Dans la perspective d'améliorer la créativité en conception en agissant sur la phase d'exploration, nous ferons une revue des travaux qui ont visé à évaluer l'impact des sources d'inspirations sur la créativité. → § 2.3

Dans une dernière partie, nous prenons le point de vue informatique sur la phase d'exploration, nous verrons, à travers l'exemple de l'éditeur de logiciel Dassault Systèmes, qu'une tendance forte est la numérisation toujours plus amont du processus de conception. Quelques logiciels d'aide à l'exploration existent déjà, mais ont des limites. De nombreux chercheurs ont formulé des recommandations quant au développement de ce type d'outils. → § 2.4

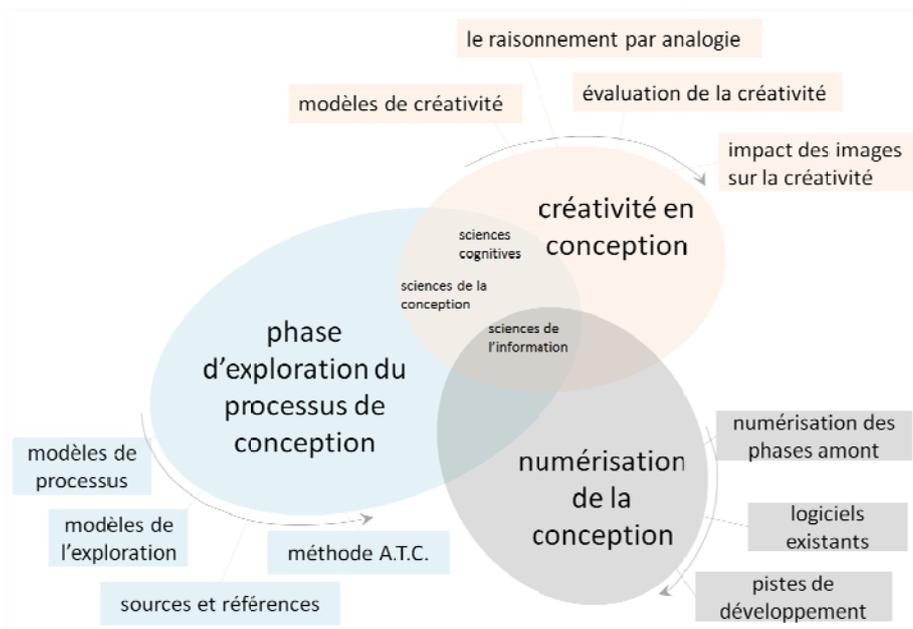


Figure 9: Schématisation de notre état-de-l'art en 3 pôles : conception / cognition / numérisation

2.1 Du concept au produit : le processus de conception

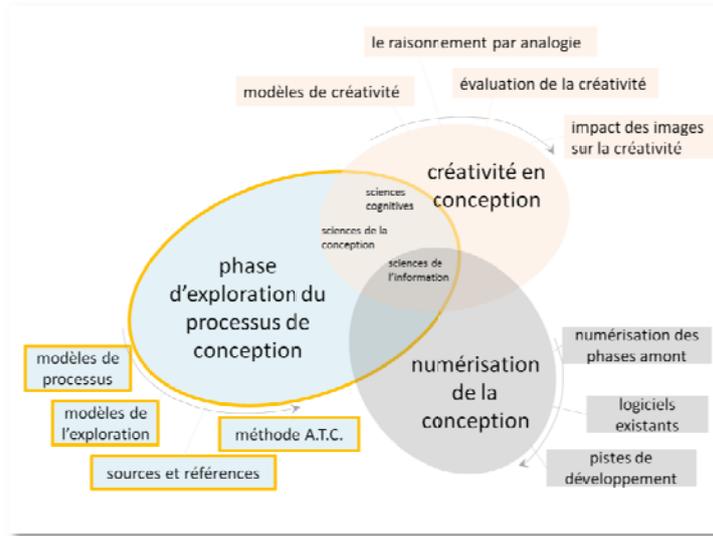


Figure 10 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la phase d'exploration du processus de conception

2.1.1 Modèles de processus de conception

Les entreprises engagées dans des activités de conception qui veulent crédibiliser leurs activités cherchent à donner de la visibilité à leurs méthodologies de travail, en l'occurrence aux méthodologies de conception. Ainsi, on trouve aujourd'hui des représentations du processus de conception sur de nombreux sites web accessibles au grand public ; ces représentations montrent un processus structuré, fait de grandes étapes qui réunissent de nombreux métiers, comme on le voit sur la figure ci-dessous extraite du site <http://www.sallyridescience.com/toychallenge/design>.

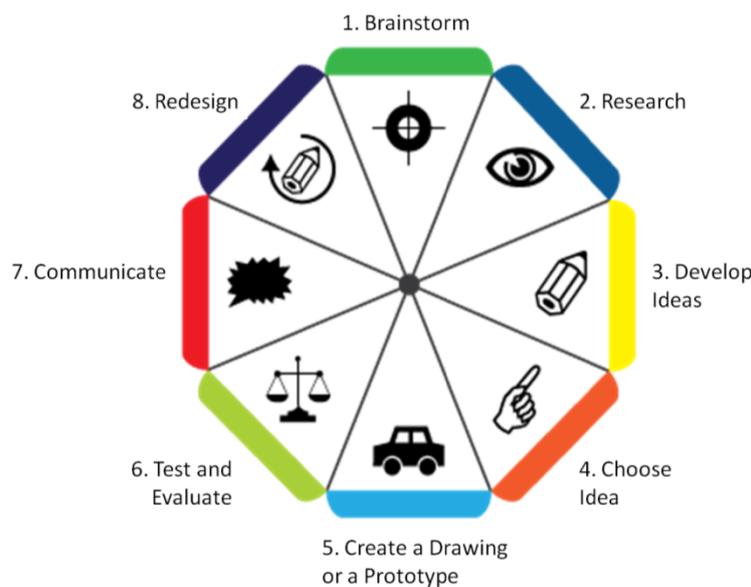


Figure 11 : Processus de conception présenté au grand public

Outre un argument de vente pour les entreprises qui conçoivent des produits manufacturés, la modélisation du processus de conception est une question scientifique explorée depuis les années 60. Cette modélisation est faite à l'origine dans l'optique d'une meilleure structuration des tâches, d'organisation du travail de conception et d'informatisation du processus. Ces enjeux se font toujours plus cruciaux dans un contexte mondialisé de concurrence économique accrue et la question reste plus que jamais d'actualité.

Dans une publication récente, [Howard et al., 2008] dressent une synthèse des modèles de conception proposés par des théoriciens de la conception de 1967 à 2006.

Tous les modèles listés se décomposent en ces grandes étapes :

(1) Analyse du besoin

Cette phase consiste en l'identification des besoins de consommateurs, de groupes d'utilisateurs, de clients, de marché. Ces besoins s'expriment traditionnellement en termes de produits, et aujourd'hui de plus en plus en termes de services. Concrètement, cette phase aboutit à des spécifications de conception, à un cahier des charges qui fixe les objectifs du projet de conception.

(2) Planification des tâches

Lors de la phase de planification des tâches, les acteurs du projet évaluent la faisabilité du projet, clarifient et formalisent les étapes à venir du projet. Il s'agit d'une phase où le problème de conception commence à être exploré, on ne parle pas encore de solutions.

(3) Conception générale

La conception générale (*Conceptual Design Phase*) consiste à explorer le problème de conception posé au départ (cahier des charges) et à proposer des pistes de solutions. Le consensus des différents auteurs est assez fort autour de la notion de « développement de concepts ». C'est dans cette phase qu'apparaissent des idées, des concepts qui seront affinés dans les étapes suivantes. C'est dans cette phase que le besoin de créativité est le plus fort.

(4) Définition de l'architecture du produit

Les idées et concepts proposés à l'étape précédente sont formalisés de manière à aboutir à des représentations d'une architecture de produit ; la conception est réalisée à un niveau « système ».

(5) Conception détaillée

Partant de l'architecture générale du produit, l'étape de conception détaillée permet d'affiner les représentations du produit, de manière à expliciter toutes les caractéristiques techniques du produit.

(6) Développement et production

Enfin, une fois l'intégralité du produit détaillée, le produit est mis en production. Avant la production définitive, cette phase peut comporter des étapes de réalisation de prototypes et de tests.

Models	Establishing a need phase	Analysis of task phase	Conceptual design phase		Embodiment design phase		Detailed design phase		Implementation phase		
Booz et al. (1967)	X	New product strategy development	Idea generation	Screening & evaluation	Business analysis	Development	Testing	Commercialisation			
Archer (1968)	X	Programming data collection	Analysis	Synthesis	Development		Communication	X			
Svensson (1974)	Need	X	Concepts	Verification	Decisions	X		Manufacture			
Wilson (1980)	Societal need	Recognize & formalize	FR's & constraints	Ideate and create	Analyze and/or test	Product, prototype, process		X			
Urban and Hauser (1980)	Opportunity identification	Design			Testing			Introduction Life cycle (launch) management			
VDI-2222 (1982)	X	Planning	Conceptual design		Embodiment design		Detail design	X			
Hubka and Eder (1982)	X	X	Conceptual design		Lay-out design		Detail design	X			
Crawford (1984)	X	Strategic planning	Concept generation		Pre-technical evaluation		Technical development	Commercialisation			
Pahl and Beitz (1984)	Task	Clarification of task	Conceptual design		Embodiment design		Detailed design	X			
French (1985)	Need	Analysis of problem	Conceptual design		Embodiment of schemes		Detailing	X			
Ray (1985)	Recognise problem	Exploration of problem	Define problem	Search for alternative proposals	Predict outcome	Test for feasible alternatives	Judge feasible alternatives Specify solution	Implement			
Cooper (1986)	Ideation	Preliminary investigation		Detailed investigation	Development	Testing & Validation	X	Full production & market launch			
Andreasen and Hein (1987)	Recognition of need	Investigation of need		Product principle	Product design		Production preparation	Execution			
Pugh (1991)	Market	Specification		Concept design			Detail design	Manufacture Sell			
Hales (1993)	Idea, need, proposal, brief	Task clarification		Conceptual design		Embodiment design		Detail design	X		
Baxter (1995)	Assess innovation opportunity	Possible products		Possible concepts		Possible embodiments		Possible details	New product		
Ulrich and Eppinger (1995)	X	Strategic planning		Concept development		System-level design		Detail design	Testing & refinement Production ramp-up		
Ullman (1997)	Identify needs Plan for the design process	Develop engineering specifications		Develop concept		Develop product			X		
BS7000 (1997)	Concept		Feasibility		Implementation (or realisation)					Termination	
Black (1999)	Brief/concept	Review of 'state of the art'		Synthesis	Inspiration	Experimentation	Analysis / reflect	Synthesis	Decisions to constraints	Output	X
Cross (2000)	X	Exploration		Generation		Evaluation		Communication		X	
Design Council (2006)	Discover	Define		Develop			Deliver			X	
Industrial Innovation Process 2006	Mission statement	Market research		Ideas phase		Concept phase		Feasibility Phase		Pre production	

Tableau 1 : 22 modèles de processus de conception proposés entre 1967 et 2006 [Howard et al., 2008]

S'il est indispensable de prendre en compte la dimension 'process' [Tichkiewitch & Brissaud, 2000] pour une applicabilité au terrain, nous nous focalisons ici sur des approches 'produit' et dans cette optique, un des modèles les plus reconnus est le modèle proposé par [Pahl & Beitz, 1996]. Ce modèle décrit les phases du processus de conception en termes de ce qu'on appelle, au LCPI et dans d'autres laboratoires, des « représentations intermédiaires », c'est-à-dire des formes du produit final

à différentes étapes du processus, explicitées par les différents acteurs du projet. Il est intéressant de noter qu'au fil du temps d'un projet de conception, à mesure que l'espace problème se transforme en espace solution, les représentations intermédiaires se concrétisent.

Pour Pahl et Beitz, comme on le voit sur la figure suivante, on progresse ainsi des spécifications (par exemple, sous la forme de texte ou de schémas grossiers) vers une solution (un produit manufacturé tangible), en passant par des concepts (par exemple, des esquisses, des prototypes).

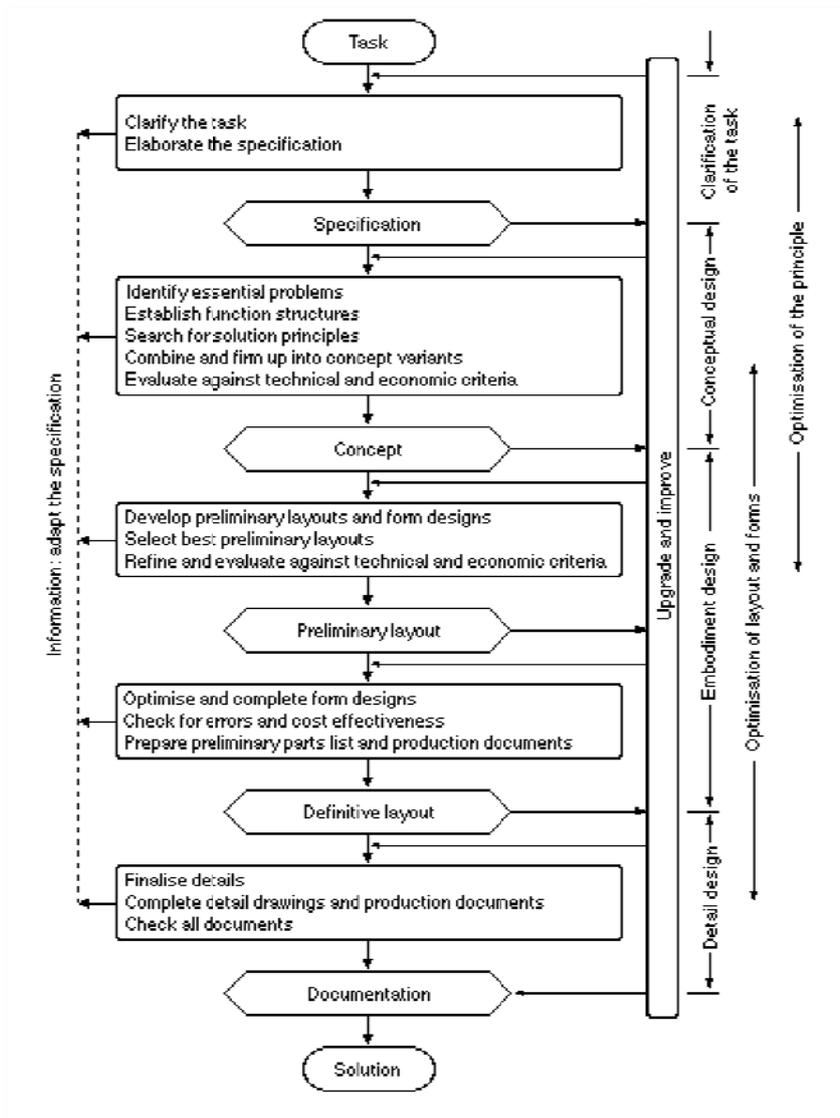


Figure 12 : Modèle de processus de conception [Pahl & Beitz, 1996]

Dans le cadre de notre recherche, nous retenons particulièrement le modèle proposé par Nigel Cross [Cross, 2000]. Nous choisissons ce modèle au vu des travaux que Cross a réalisés depuis, sur l'activité cognitive des designers, qui sont particulièrement intéressants pour notre sujet de recherche.

Cross propose une description simple du processus de conception, en quatre étapes :



Figure 13 : les 4 étapes du processus de conception par [Cross, 2000]

Une limite que l'on peut voir dans les modèles cités précédemment est que le processus de conception est représenté de manière tout à fait **linéaire**. De même, l'état-de-l'art dressé par Howard *et al.* dans le tableau ci-dessus prend le parti de présenter les différents modèles selon une séquence de grandes étapes de conception.

A l'instar des travaux du LCPI, les propositions plus récentes de modèles du processus de conception tentent de représenter le **processus de conception de manière moins séquentielle** ; le processus de conception n'est pas un processus linéaire [Aoussat, 1990] [Vadcard, 1996].

[Van der Lugt, 2001] montre par exemple que le processus de conception consiste en des itérations de divergence-convergence, sous la forme d'alternance entre génération, interprétation et évaluation d'idées.

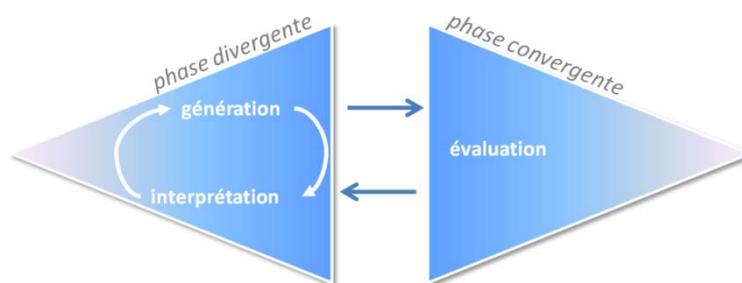


Figure 14 : Modèle cyclique de l'étape de résolution de problème et de recherche d'idée [Van der Lugt, 2001]

Le modèle du [UK Design Council, 2007] intègre par exemple des paramètres tels que le degré de **convergence/divergence**. Le modèle ci-dessous est proposé par le « UK Design Council » qui est un organisme public visant à supporter les activités de conception au Royaume-Uni. Pour cela, le UK DC a, entre autres, fait une revue de la littérature scientifique sur les méthodes et processus de conception (principalement issue de la communauté britannique) et étudier les activités de conception au sein de 11 grandes entreprises européennes telles qu'Electrolux, LEGO... Une observation majeure est qu'il n'existe pas encore de meilleure pratique (*Best Practice*) de processus de conception bien définie ; cependant, il existe des points communs entre les différents processus, en particulier le fait que l'on retrouve 4 ou 5 grandes phases dans le processus de conception. Ceci rejoint l'état de l'art de [Howard *et al.*, 2008] présenté plus haut.

Dans le modèle proposé par le Design Council, on retrouve 4 grandes phases : *Discover*, *Define*, *Develop* et *Deliver*.

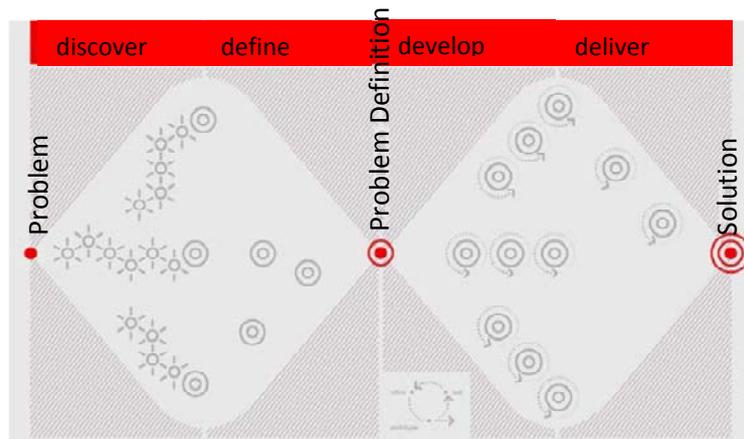


Figure 15 : Modèle de conception propose par [UK Design Council, 2007]

La forme de double-diamant permet de mettre en évidence un phénomène de divergence-convergence, d'une part pour passer du problème à la (re-)définition du problème, d'autre part pour passer du problème redéfini à une solution de conception. Chacune des phases consiste en fait en des boucles itératives pendant lesquelles une exploration et une évaluation de chacune des idées a lieu. D'autre part, ce modèle met en évidence que la phase amont (*Discover*) est cruciale pour la suite du projet ; les auteurs insistent sur le fait que dans ces phases amont, les connaissances et les compétences des designers jouent un rôle majeur. Cette phase, que nous appelons « phase amont » est nommée *Fuzzy Front End (FFE)* par de nombreux chercheurs.

[This model] places emphasis on the Discover phase as one of the most critical, and the one which makes best use of the designer's knowledge and skills. This stage is not present in the processes outlined so far. This early phase has been referred to as the fuzzy front end (FFE) and it is critical to defining the nature of the problem that is being addressed through design [Rhea, 2003]. The term FFE is increasingly being used to describe the early stages of the innovation process where ideas form. There is a level of ambiguity at this phase of the new product development process, and the process is largely unstructured. [UK Design Council, 2007]

Cette description de la phase amont implique que le rôle des concepteurs dans cette phase est crucial. En effet, les passages des problèmes aux solutions et réciproquement, consistant en actions

d'exploration, de génération, d'interprétation, d'évaluation, sont aujourd'hui exclusivement réalisés par le concepteur lui-même.

L'activité de conception est une activité humaine qui met en jeu des mécanismes cognitifs particuliers. Depuis la fin des années 90, les modèles de processus de conception tendent à intégrer progressivement cette donnée ; l'exploration de l'aspect cognitif de l'activité de conception est un enjeu majeur de recherche actuellement.

2.1.2 Une tendance forte en conception : vers l'ingénierie simultanée

Dans la section précédente, nous avons vu que les nombreux modèles du processus de conception comportent 4 ou 5 grandes phases, similaires d'un modèle à l'autre. D'autre part, les phases amont sont particulièrement riches en itérations et en boucles d'exploration d'idées.

Dans la même perspective, [Pahl & Beitz, 1984] ou plus récemment [Ullman, 1997] schématisent dans la figure ci-dessous les niveaux de connaissance du problème de conception et de la liberté de conception, en fonction des phases du processus de conception. Ainsi, dans les phases amont, la connaissance du problème de conception est à son minimum et la liberté de conception à son maximum. La latitude de conception évolue progressivement vers un état final où elle est nulle.

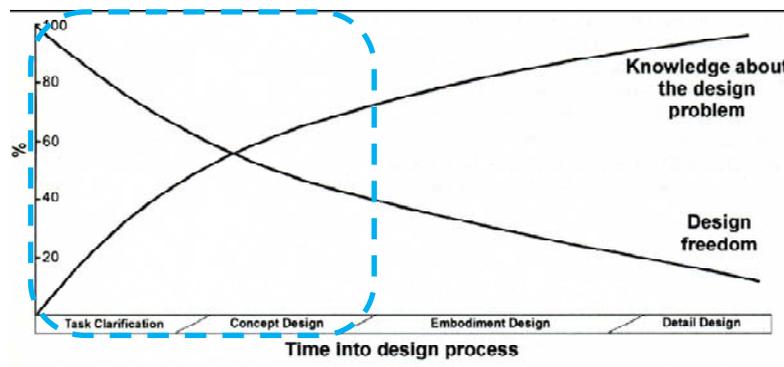


Figure 16 : Schematic description of knowledge/information versus design freedom [Ullman, 1997]

De la même manière, [Zeiler et al., 2007] montrent que l'influence des informations sur la conception évolue tout au long du processus. Elle est à son maximum en tout début de processus et conserve une valeur élevée dans les phases amont jusqu'en phase de conception générale.

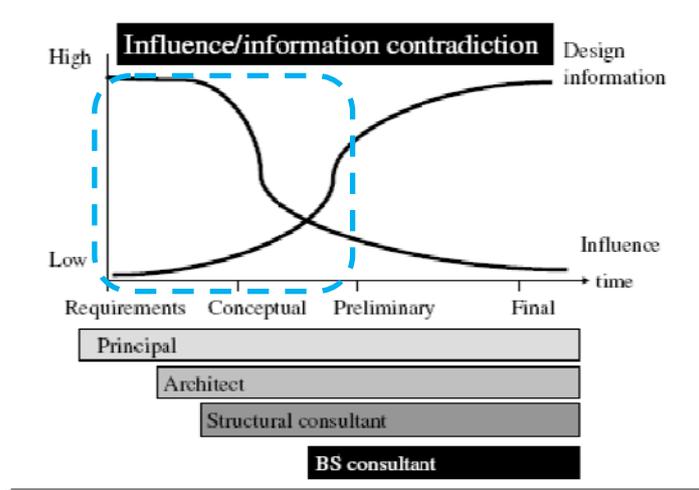


Figure 17 : Influence / information contradiction at the early stages of design [Zeiler et al., 2007]

On voit donc que la latitude de conception est à son maximum en début de processus de conception et que le rôle des informations et de la connaissance est prépondérant dans les phases amont de la conception. Les **phases amont** sont des phases décisives pour la conception ; les informations utilisées dans ces phases ont donc une importance majeure.

Une tendance forte en conception depuis les années 90 est le passage d'une ingénierie séquentielle, où les étapes de la conception se suivent chronologiquement, à une ingénierie simultanée (*concurrent engineering*), où les étapes de la conception peuvent être conduites en parallèle dans la mesure où de nouveaux outils informatiques le permettent (outils de Conception Assistée par Ordinateur, CAO, et outils de Product Data Management, PDM). Le diagramme suivant présente une comparaison de la distribution des étapes de conception, entre ingénierie séquentielle et ingénierie simultanée.

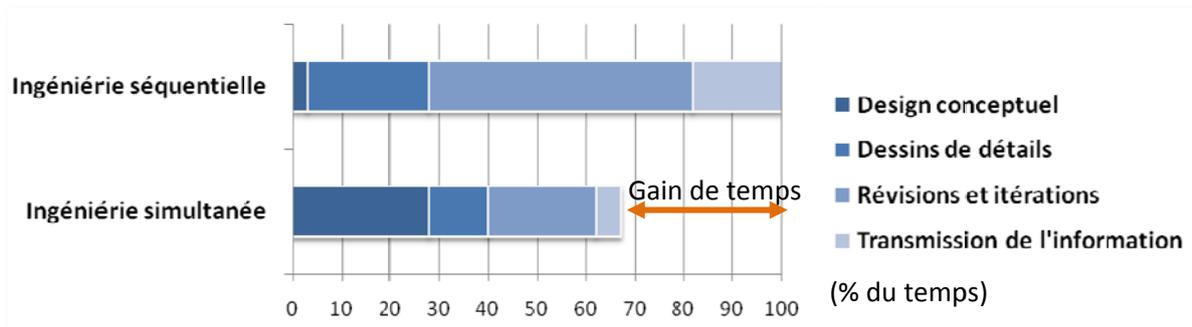


Figure 18 : Répartition du temps lors de la conception, d'après [Charron, 1998, cité par Mantelet, 2005]

On observe deux choses intéressantes sur ce diagramme:

→ Le passage d'une ingénierie séquentielle à une ingénierie simultanée permet de réduire de près de la moitié, la **durée totale** d'un cycle de conception.

→ La part de temps alloué aux phases de « **design conceptuel** » ou ce que nous appelons « phases amont du processus de conception » est en revanche nettement augmentée. En effet, l'ingénierie simultanée requiert un travail de préparation poussé, afin de faire travailler ensuite de nombreux métiers de manière conjointe, sans incidents.

En somme, lorsque la phase amont de « design conceptuel » représentait environ 3% du temps du cycle de conception en ingénierie séquentielle, elle représente près de 30% du temps du cycle de conception en ingénierie simultanée. Les conséquences pour les entreprises en termes d'organisation du travail et de ressources humaines et techniques dédiées aux phases amont de la conception ne sont donc pas négligeables.

Les phases amont sont décisives pour la suite d'un projet de conception, particulièrement dans un contexte d'ingénierie simultanée. En ingénierie simultanée, la majeure partie du temps de conception est consacrée aux phases amont qui représentent donc un investissement majeur en termes de coût (temps, ressources).

2.1.3 *La phase d'exploration, une thématique de recherche émergente*

Comme nous l'avons vu dans cette partie, le processus de conception est aujourd'hui largement décrit. Pour illustration, [Howard et al., 2008] listent 22 modèles proposés entre 1967 et 2006. Dans cette pléthore de descriptions du processus de conception, nous retiendrons que les principales étapes de la conception sont largement communes d'un modèle à l'autre. Il s'agit des étapes suivantes :

- (1) Analyse du besoin
- (2) Planification des tâches
- (3) Conception générale
- (4) Définition de l'architecture du produit
- (5) Conception détaillée
- (6) Développement et production

Notre recherche se positionne sur la **conception générale**. En reprenant les intitulés proposé par Cross (Exploration / Génération / Evaluation / Communication), notre cible d'étude est la « **phase d'exploration** » : en terme de représentations externes tangibles, la phase d'exploration court de la réception du cahier des charges par les concepteurs aux premières représentations de solutions, la plupart du temps par des esquisses.

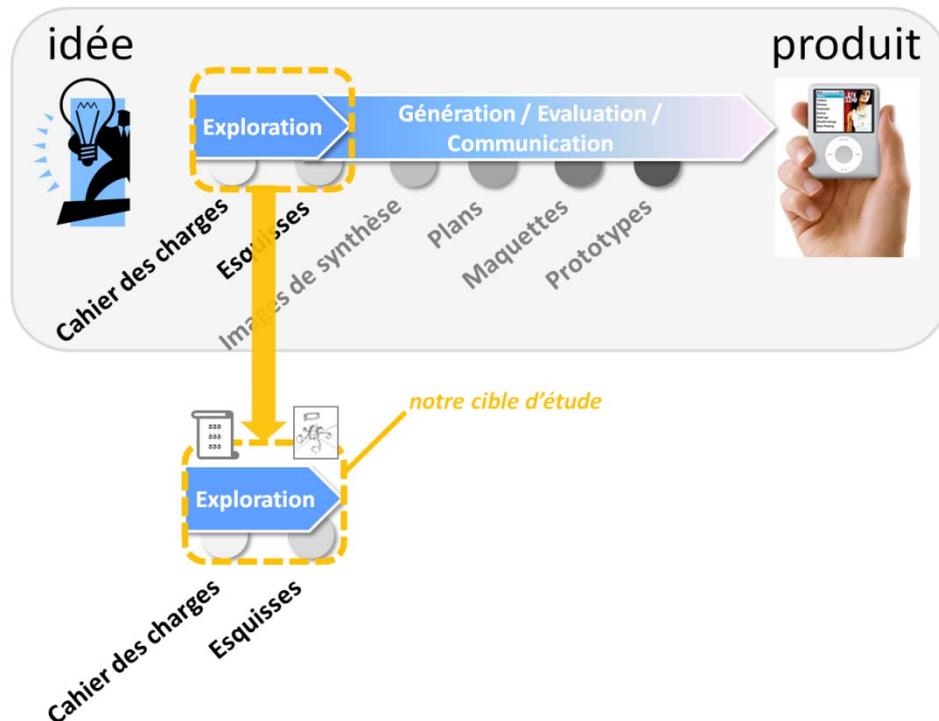


Figure 19 : notre recherche cible la phase d'exploration et la transition avec la phase de génération

Lors de la phase d'exploration, l'influence des informations et des connaissances utilisées par les conceptions est à son maximum, c'est une phase cruciale puisqu'elle aboutit aux premières esquisses qui détermineront la suite du projet. Or la littérature scientifique a traditionnellement produit plus de connaissances sur la phase de génération ou de conception détaillée, les activités liées à cette phase étant explicites, donc facilement descriptibles et modélisables. L'étude de la phase d'exploration s'est développée dans les années 90 et suscite de plus en plus d'activités de recherche.

Dans les phases amont du processus de conception, nous cherchons donc étudier plus spécifiquement la phase d'exploration, c'est-à-dire depuis la réception d'un cahier des charges par les designers jusqu'aux toutes premières formalisations de solutions-design par des esquisses, phase peu connue et peu décrite car impliquant des activités cognitives implicites (non observables directement) des designers.

2.1.4 Le passage à la phase de génération : la production d'esquisses

Lors du processus de conception, on a vu que les concepteurs utilisaient des représentations intermédiaires qui permettent une concrétisation progressive de solutions de conception. Les premières traces tangibles de concrétisation prennent forme la plupart du temps par des esquisses ou des croquis réalisés à la main par les designers. La transition entre la phase d'exploration et la phase de génération se fait donc avec la production des premières esquisses.



Figure 20 : Les esquisses sont la première formalisation de solutions par les designers.

Comme l'a expliqué [Schön, 1983], l'activité de conception est une activité réflexive qui consiste en un dialogue permanent du designer avec lui-même ; dans ce contexte, l'activité de sketching permet un processus itératif propre aux designers que Schön appelle *seeing-drawing-seeing* ; le dessin est une externalisation de la pensée du designer, il lui permet de stocker sa pensée, de la visualiser et de l'interpréter pour rebondir sur une nouvelle idée qui sera représentée par une nouvelle esquisse ou une modification de l'ancienne, et ainsi de suite jusqu'à ce que le designer soit satisfait de sa production ou jusqu'à épuisement de sa production créative.

L'activité de dessin (*sketching*) a elle été beaucoup étudiée [Tovey et al., 1997, 2000, 2003] [Do et al., 2000] [Van der Lugt, 2001] et il a été montré que le sketching est un élément indispensable du raisonnement créatif des designers. En effet, comme le rappellent [Tovey et al., 2003], les esquisses permettent de :

- générer des concepts
- externaliser et visualiser les problèmes de conception
- faciliter la résolution de problème
- faciliter la perception et l'interprétation d'idées
- manipuler et raisonner avec des dessins d'artefacts
- reprendre et affiner des concepts

Il est reconnu que le sketching est indispensable aux designers pendant le raisonnement créatif. Aujourd'hui, l'enjeu principal des recherches sur l'activité de sketching est de fournir des modèles qui permettront le développement d'outils d'aide au dessin (computer-aided sketching) adaptés aux pratiques en cours et aux besoins des designers et s'intégrant harmonieusement dans l'ensemble du processus de conception (connections avec d'autres outils de conception comme la CAO...).

Le sujet semblait être épuisé mais une étude récente pourrait relancer un débat sur le rôle du *sketching* dans l'activité des designers. Dans leur étude, [Bilda & Gero, 2007] présentent une expérimentation menée avec des architectes experts engagés dans deux processus de conception différents : dans l'un, les concepteurs étaient autorisés à faire des esquisses, dans l'autre non. L'évaluation des résultats de conception et des liens entre les idées produits ne montre pas de différence significative entre les deux conditions de conception. Les auteurs concluent sur le fait l'activité de *sketching* n'est pas une activité essentielle dans les phases de design conceptuel. En conclusion, et contre toute attente, les auteurs montrent que l'activité de production d'esquisses s'avère n'être pas indispensable à la conception dans le sens où les résultats créatifs étaient tout aussi bons que les concepteurs aient eu recours aux esquisses ou non, durant le processus de conception.

L'activité de *sketching* est la matérialisation du passage de l'exploration à la génération, c'est un support naturel au raisonnement créatif des designers. Les études citées montrent que les esquisses sont des traces tangibles de la progression du processus créatif et le résultat observable de la phase d'exploration ; une esquisse est un objet tangible issu de la phase d'exploration, dont on peut évaluer la créativité.

2.2 L'activité de conception dans la phase d'exploration

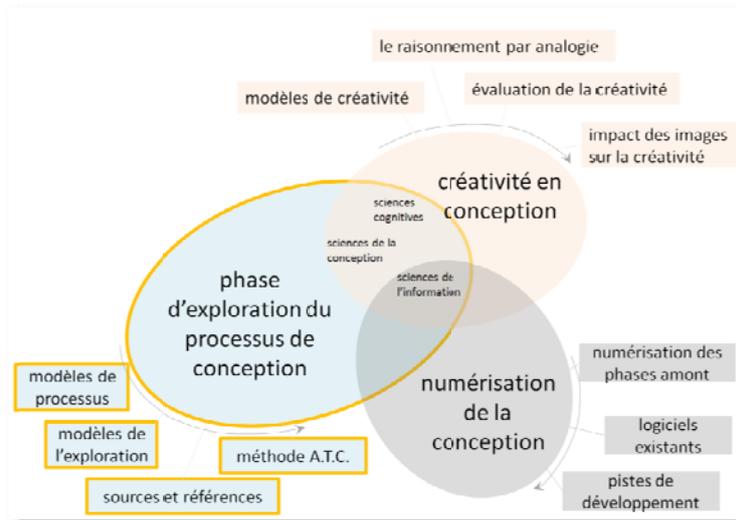


Figure 21 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la phase d'exploration du processus de conception

Dans la partie précédente, nous avons fait une revue de plusieurs modèles de conception existants dans la littérature. Nous ciblons particulièrement la phase d'exploration du processus de conception et le lien entre la phase d'exploration et la phase de génération. Il existe aujourd'hui relativement peu de travaux sur la phase d'exploration en conception, cette phase étant encore vue comme une boîte noire basée sur le fonctionnement mystérieux de la création.

La conception ne commence pas de rien : les concepteurs font largement appel à des sources d'inspiration. Nous verrons qu'il existe quelques rares travaux scientifiques visant à formaliser le processus d'utilisation des ressources inspirationnelles en conception. → § 2.2.1 Les sources d'inspiration utilisées par les concepteurs prennent la plupart du temps la forme d'informations visuelles. → § 2.2.2 La phase d'exploration est aujourd'hui en partie modélisée par l'Analyse de Tendances Conjointe, méthodologie d'exploration et de structuration des sources d'inspiration qui permet une optimisation de la phase d'exploration. → § 2.2.3

2.2.1 L'activité de conception vise à résoudre un problème mal défini

Les activités de conception sont considérées comme des activités de résolution de problèmes complexes : en effet, un objectif de conception est défini par des spécifications ou un cahier des charges qui ne recouvrent pas l'intégralité des paramètres du produit final. Le problème est en partie ouvert et il n'existe pas une solution unique à ce problème.

[Simon, 1973] parle de *ill-structured problem* pour les raisons suivantes :

- Il n'y a pas une manière unique de résoudre un problème de conception donné.
- La description d'un problème de conception n'est pas exhaustive, à cause du trop grand nombre d'éléments qui caractérisent un problème.
- il n'existe pas une solution optimale pour un problème donné. On acceptera une solution si elle est suffisamment satisfaisante par rapport à des critères choisis subjectivement.

Afin de structurer le problème, les concepteurs font appel à des informations qui leur permettent de construire des images mentales et de poursuivre leur cheminement cognitif vers une solution design. Dans le paragraphe suivant, nous voyons de quel type d'informations les designers s'inspirent dans la phase d'exploration.

2.2.2 Sources d'inspiration en conception

Il existe de nombreux écrits sur le mystère de la création qui par leurs approche peu scientifiques ne sont pas au cœur de notre attention. Il n'empêche que le lien existe entre une créativité qui peut s'apparenter à une démarche artistique et le processus de conception qui vise à la production de produits innovants. Notre préoccupation est justement de comprendre par une approche scientifique quelles sont les sources d'information des concepteurs et comment ces sources sont utilisées dans la phase d'exploration.

La phase d'exploration est couramment décrite dans la littérature comme une phase de collecte d'informations qui sont cruciales pour la compréhension de l'objectif de conception. La phase d'exploration permet de collecter les informations nécessaires (*gather relevant data*) [Wallas, 1926], de construire la connaissance sur le problème (*build knowledge about the problem*) [Amabile, 1983], de trouver les faits utiles (*fact-finding*) [Osborn], ou de collecter (*collect phase*) [Schneiderman, 2000]. La phase d'exploration consiste en une dynamique de recherche d'informations qui vont servir à la résolution du problème de conception. Dans le paragraphe suivant, nous allons justement voir quelles sont les "connaissances" et les "faits" qui sont collectés, nous regroupons ces informations sous les vocables « références » ou « sources d'inspiration ».

2.2.2.1 Références en conception

Pour illustrer l'apport des sources d'inspiration, on peut citer, entre autres, les travaux de designers ou architectes de renom, à l'instar de Philippe Starck et de Frank O. Gehry. Dans leur article « What was Philippe Starck thinking about ? », [Lloyd & Snelders, 2003] construisent la généalogie du presse-agrumes *Juicy Salif* vendu à 50 000 exemplaires par an depuis son lancement en 1990, depuis les sources d'inspiration de Starck jusqu'à l'idée définitive de l'objet. Parmi les multiples sources d'influence, la science-fiction et les coquillages marins auraient eu un rôle décisif dans la conception du presse-agrumes.



Figure 22 : De la science-fiction au *Juicy Salif* de Philippe Starck [Lloyd and Snelders, 2003]

On retrouve largement ce type d'anecdotes à l'origine des constructions architecturales. En particulier, Frank O. Gehry, architecte américain qui a reçu le Pritzker Prize en 1989, commente le processus de créativité à la base de son travail dans le film « Sketches of Frank Gehry » [Pollack, 2006]. Dans sa thèse en sciences de l'architecture, [Kacher, 2005] donne également des exemples de sources d'inspiration en conception architecturale. L'immeuble qui danse, de Gehry, construit à Prague en 1995, aurait donc été inspiré de Fred Astaire et Ginger Rogers dansants.

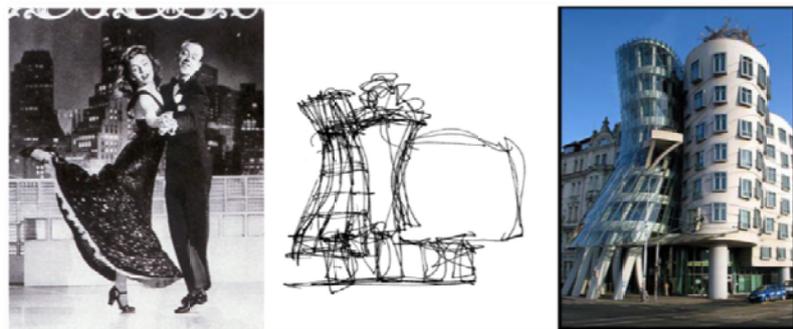


Figure 23 : De Fred Astaire et Ginger Rogers au « *Tancicky Dum* » de Frank O. Gehry, 1995 [Kacher, 2005]

On trouve donc dans la littérature scientifique des exemples de liens entre sources d'inspiration et produits industriels ou architecturaux. Les études sur l'activité de conception sont souvent focalisées

sur l'activité des concepteurs de renom [Cross, 1996] [Lawson, 2004b] car ce sont des exemples médiatisés, accessibles et qui parlent au plus grand nombre. Comme exemple de conception plus « commune », [Eckert & Stacey, 2000] évoque le cas du pont de Kingsgate à Durham en Grande-Bretagne, conçu par l'entreprise ARUP, qui est inspiré des pieds de rhubarbe.



Figure 24 : Des pieds de rhubarbe au pont Kingsgate, à Durham (GB) [Eckert & Stacey, 2000]

Ce dernier exemple de conception plus commune colle à une tendance en recherche qui consiste en l'étude de cas de concepteurs peu médiatiques, par exemple des concepteurs intégrés en industrie, ou des concepteurs novices. Ce type d'études permet de tirer des enseignements utiles à un plus grand nombre de concepteurs; l'impact est diffusé plus largement dans l'industrie, et pas seulement limité à un cas de concepteur ou de produit « star ». Nous nous plaçons justement dans cette optique, en travaillant avec des designers intégrés dans des entreprises industrielles, concevant des produits industriels de grande série et anonymes.

D'autre part, dans les exemples présentés ci-dessus, le lien entre la source d'inspiration et le produit conçu est très visible ; sans que ce lien soit aussi visible dans d'autres cas de conception, les sources d'inspiration n'en sont pas moins importantes pour le concepteur puisque celles-ci l'aide dans son processus cognitif de conception. Les designers et concepteurs intégrés en entreprise font-ils appel à des sources d'inspiration ? Lesquelles ? Comment les utilisent-ils ? Ces questions restent ouvertes.

2.2.2.2 **Vers une structuration des sources d'inspiration**

On a vu précédemment que les concepteurs utilisent des sources d'inspiration et d'information pour nourrir leur créativité. Ces sources sont identifiées de manière anecdotique, souvent pour raconter une histoire derrière un produit. Il n'existe aujourd'hui pas d'approche générique qui viserait par exemple à lister les sources d'inspiration liées à tel ou tel secteur de la conception et à lier sources et créativité des solutions. De la même manière, il existe aujourd'hui très peu de modèles des phases amont du processus de conception. Claudia Eckert de l'Engineering Design Center à l'Université de

Cambridge a formalisé le processus d'inspiration dans le domaine de la mode, au contact d'industries de la confection pendant 20 ans. Dans l'article « Sources of Inspiration : A Language of Design », [Eckert & Stacey, 2000] décrivent les étapes de la recherche d'inspiration en design.

*Sources of inspiration play an important role in the design process, both in defining the context for new designs and in informing the creation of individual designs. Previous designs and other sources of ideas furnish a **vocabulary** both for thinking about new designs and for describing designs to others. In a study of knitwear design, a process in which the use of sources of inspiration is explicitly acknowledged, we have observed that designers communicate with each other about new designs, styles and moods, largely **by reference to the sources of their ideas**. In this paper we discuss why this style of communication is so important, and what information it is used to convey. We view it as the use of a language to describe regions in the space of possible designs. [Eckert & Stacey, 2000]*

Les auteurs mettent en évidence que les designers utilisent des sources d'information qui vont des défilés de mode aux artefacts naturels. Le processus de design textile a été décrit par Eckert et Stacey, comme le montre la figure ci-dessous : le processus de conception textile s'appuie sur un contexte, le contexte de la mode, et il existe de nombreuses sources d'influence sur le processus, telles que les magazines de mode, des défilés, les objets naturels ou manufacturés, les images.

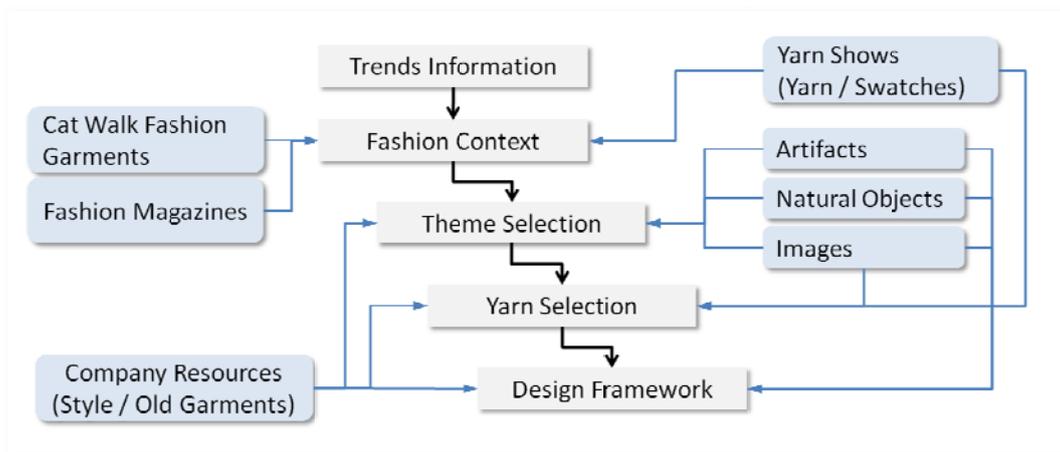


Figure 25 : Description du processus d'exploration dans le contexte de la confection textile [Eckert and Stacey, 2000]

Cette schématisation est une des rares descriptions existantes des phases très amont du processus de conception, avant même qu'une solution design soit proposée. D'ailleurs, sur cette figure, nous

remarquons que les auteurs décrivent le processus de conception textile depuis des informations sur les tendances jusqu'à des spécifications design ; entre-temps, le thème à explorer aura été choisi mais aucune solutions de conception détaillée n'aura été encore réalisée. On est bien là dans la phase d'exploration, où les concepteurs collectent les informations nécessaires à la création d'un cahier des charges et à des propositions d'orientations.

Un des rares modèles de la phase d'exploration [Eckert & Stacey, 2000] (dans le domaine de la confection) montre que le processus de conception se nourrit d'informations provenant de sources extérieures : textes, objets, images.

2.2.3 *Images et informations visuelles en conception*

Dans leur pratique, les designers recourent largement aux **informations visuelles** dans la phase d'exploration et plusieurs études ont montré que l'utilisation d'images par les designers a un impact positif sur la **quantité** d'idées évoquées [Christiaans, 1992] [Leclercq & Heylighen, 2002]. Les images aident donc à produire des idées, mais aident-elles à produire de bonnes idées ?

Dans une expérimentation réalisée avec 24 étudiants en architecture et design industriel, [Goldschmidt & Smolkov, 2006] ont montré que les images ont un impact positif sur la **qualité** des idées évoquées. Les sujets devaient répondre à un cahier des charges (« concevoir une fontaine à eau ») individuellement et en un temps limité, en produisant autant d'esquisses qu'ils le voulaient. La moitié du groupe disposait de stimuli visuels, l'autre non (voir photos ci-dessous). Pour juger de la qualité des idées évoquées, la **créativité** des esquisses issues de la séance de test étaient évaluées par des experts. Les solutions design générées dans un contexte de stimuli visuels étaient plus créatives que celles générées sans stimuli visuels.



Figure 26: Conditions d'expérimentation, sans stimuli visuels et avec stimuli visuels [Goldschmidt & Smolkov, 2006]

Une étude réalisée avec des non-designers montre que les images sont une meilleure source de créativité que les mots: [Malaga, 2000] relate une expérimentation qui visait à comparer l'impact des images et celui des mots sur la créativité. La conclusion est que les indices visuels entraînent une créativité plus grande que les indices textuels, ou que des indices visuels et textuels combinés.

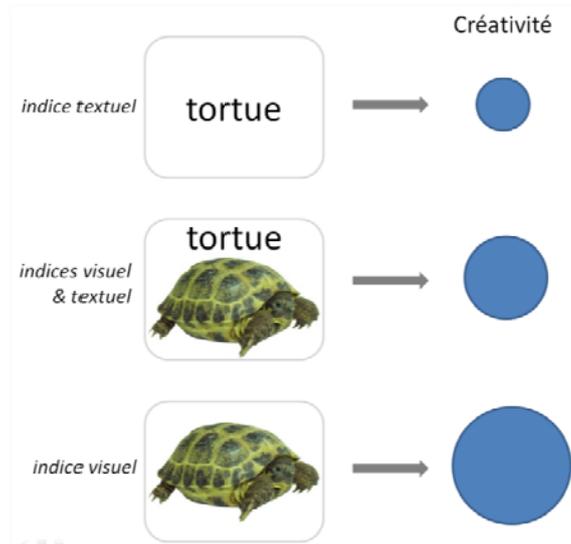


Figure 27: Pour les sujets de l'étude (non- designers), les images ont un plus fort impact sur la créativité que le texte, d'après [Malaga, 2000]

Les images déclenchent plus facilement et plus efficacement le raisonnement par analogie. [Oxman, 2002] a proposé des modèles assez poussés sur le rôle des informations visuelles sur le processus cognitif des designers. Son étude montre que les informations visuelles (images) sont indispensables à l'activité de conception parce qu'elles fournissent la matière sur laquelle s'appuie le raisonnement par analogie. Les images peuvent être des images stockées dans la mémoire du designer ou des images 'externes' ; ces images sont utilisées pour susciter chez le designer la production d'images mentales (*mental imagery*). Oxman propose l'idée que l'émergence d'une solution créative est déclenchée par une représentation externe (image) que le concepteur transforme par des opérations cognitives de transformation sémantique.

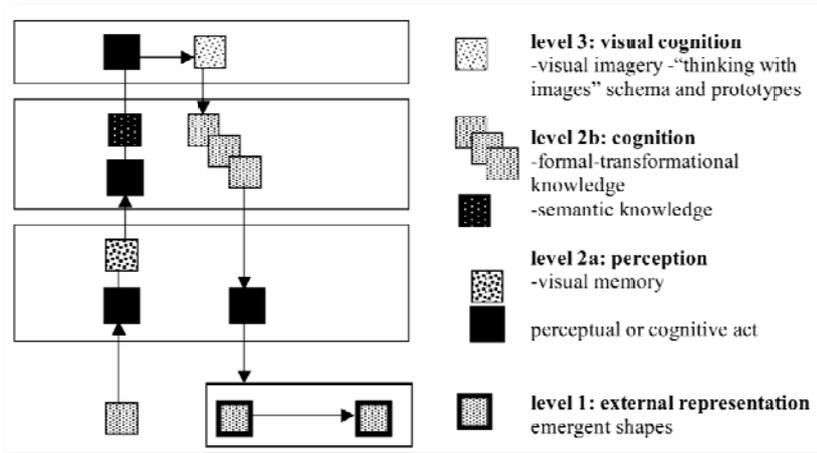


Figure 28 : Modèle du principe d'émergence visuelle [Oxman, 2002]

Nous retenons que pour raisonner par analogie, la référence à des représentations externes est indispensable. Ces représentations externes sont plutôt des images que des mots, en particulier pour les designers qui ont un langage visuel, plus entraînés et plus enclins à manipuler des images que du texte ; le contenu des images utilisées par les designers, en terme de caractéristiques formelles, doit permettre un rapprochement analogique.

Les designers utilisent images et mots-clés comme support à l'inspiration. Les images en particulier sont un support essentiel à la créativité car elles favorisent le raisonnement par analogie. Grâce à des images inspirationnelles (dont nous souhaitons définir les caractéristiques), les designers évoquent des idées en plus grand nombre et de meilleure qualité. Une aide à la phase d'exploration doit donc impérativement consister en la **recherche d'images** qui favorisent le raisonnement par analogie.

2.2.4 Une méthodologie d'exploration : l'Analyse de Tendances Conjointe (A.T.C.)

Comment les designers utilisent-ils donc les images qui servent de base à leur raisonnement créatif pour produire des idées et des esquisses ? Cette activité est aujourd'hui réalisée avec peu de méthode ; les écoles de design enseignent le début de cette phase (« rechercher des images comme sources d'inspiration ») et la fin de cette phase (« comment représenter ses idées par des esquisses ») de ce processus mais pas les étapes intermédiaires. Dans la pratique industrielle, les designers progressent dans cette phase chacun à leur manière sans réelle *meilleure pratique*.

L'Analyse de Tendances Conjointe est, il nous semble, la seule méthodologie qui formalise un déroulement rigoureux de cette phase. Cette méthode développée par [Bouchard, 1997] a été

affinée et validée en partenariat avec de nombreux industriels, afin de coller à la réalité du métier. Elle vise à identifier les secteurs d'influence investigués par les designers, qui servent de base au raisonnement analogique. Comme nous l'avons vu plus haut, ce mode de raisonnement est considéré comme crucial dans le processus créatif ; grâce à cette méthode, on peut extraire, à partir de secteurs connexes, des caractéristiques design transférables dans le secteur de référence.

Ce travail permet la matérialisation progressive de l'espace solution. Le designer progresse donc de la manipulation d'images inspirationnelles jusqu'aux esquisses finales, en passant par une étape d'organisation et de transformation des sources inspirationnelles en cartographies sémantico-spatiales (*MO : mapping secteurs influents*) et planches de tendances (*M1*). Ces étapes sont représentées dans la figure ci-dessous.

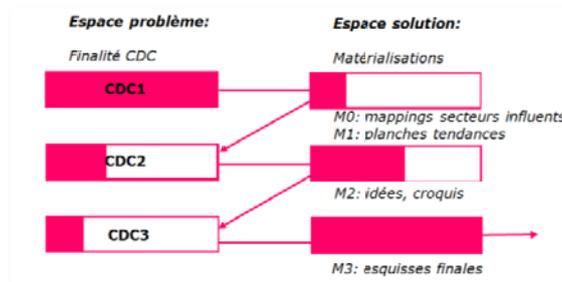


Figure 29 : Représentations intermédiaires pour la concrétisation des solutions design [Bouchard, 1997]

Une **cartographie sémantico-spatiale** est la structuration d'un corpus d'images représentant un produit (ex.: téléphones portables) en fonction des caractéristiques perçues ; les produits sont ainsi positionnés par rapport à deux axes choisis par le designer, comme étant les deux axes les plus discriminants (ex.: *interface simple - interface compliquée* et *design retro – design innovant*). La cartographie sémantico-spatiale permet de mettre en évidence l'existence de groupes de produits et de secteurs d'influence (*coquillages, aérospatial...*). Les cartographies sont utilisées pour visualiser un panorama des produits existants et aider à la décision sur le positionnement de produits futurs.



Figure 30 : Exemple d'une cartographie sémantico-spatiale [Plos et al., 2004], cité par [Mantelet, 2006]

Les **planches de tendances** sont également construites par les designers à partir de l'observation d'un corpus d'images, la plupart du temps en feuilletant des magazines destinés aux designers. Les designers peuvent ainsi extraire des tendances (dans l'exemple ci-dessous : *Zen Air*, *White Organic*) qui se définissent visuellement par une image composée par le designer et des palettes associées (couleurs, textures, formes), et lexicalement par des mots-clés incarnant des valeurs abstraites (*liberté, douceur...*). Ces éléments visuels et sémantico-émotionnels peuvent ensuite être intégrés dans la conception de produits dès l'étape de formalisation des premières représentations externes.

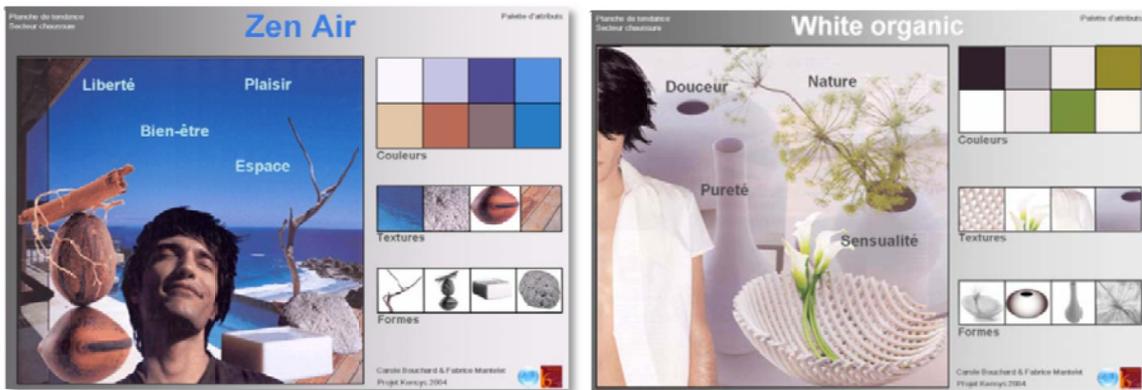


Figure 31 : Exemples de planches de tendances, « Zen Air » et « White Organic » [Mantelet, 2006]

La méthode ATC est donc une **assistance au raisonnement par analogie** dans la phase d'exploration ; elle permet d'accompagner le designer dans la recherche et l'organisation des sources inspirationnelles. Elle fournit des représentations externes qui aident le designer à construire des cartographies sémantico-spatiales (*mapping*) et des planches de tendances (*moodboard*) et à produire des représentations externes (esquisses finales). L'ATC est donc une méthode d'assistance à la créativité, de la recherche de sources inspirationnelles à l'évocation d'idées.

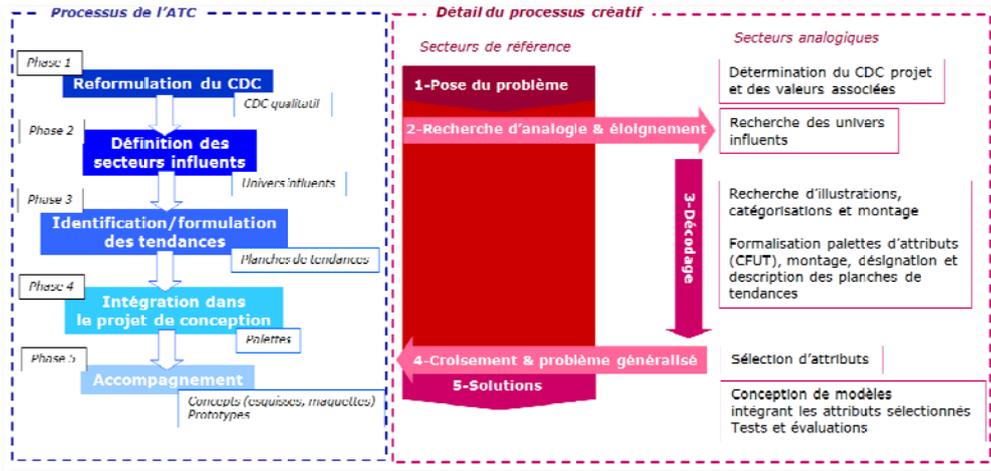


Figure 32 : Description de la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe [Bouchard, 1997]

2.3 Créativité en conception

Dans cette partie, nous présentons l'état-de-l'art relatif à la dimension **cognitive** de notre sujet de recherche et en particulier nous relatons les connaissances sur les caractéristiques et l'évaluation de la créativité dans la phase d'exploration du processus de conception.

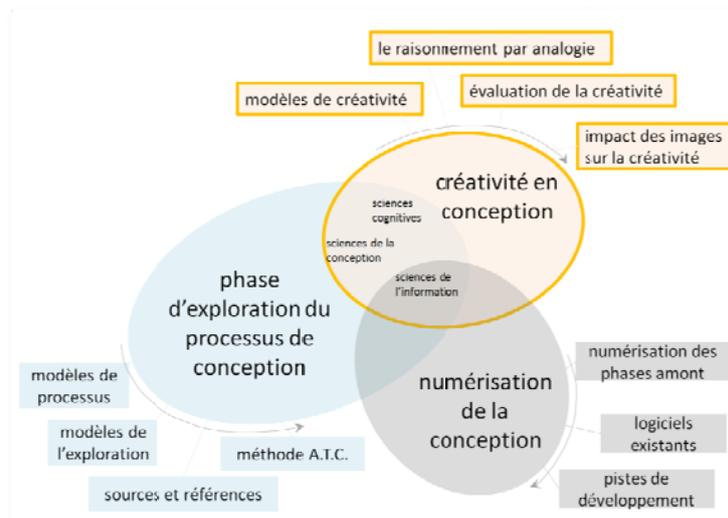


Figure 33 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la créativité en conception

2.3.1 Principes généraux de créativité

A la suite des approches psychanalytiques montrant la créativité comme un phénomène inconscient, une « boîte noire » (Freud), des modèles de pensée créative sont apparus. Un des tous premiers modèles de pensée créative est celui de [Wallas, 1926] en 4 phases : Préparation, Incubation,

Illumination, Vérification. La notion d'illumination montre encore le mystère qui flottait autour du « phénomène créatif ».

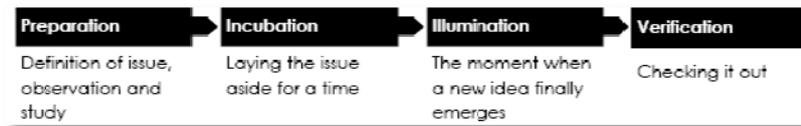


Figure 34 : Modèle de la pensée créative par [Wallas, 1926]

Or au fil des années, les modèles de créativité se sont enrichis et les caractéristiques décrivant la créativité se sont faites plus nombreuses. Tout d'abord, il est admis que la créativité est une qualité humaine qui dépend des dispositions et de l'expertise individuelles. Par exemple, [Amabile, 1997] propose que la créativité résulte de la combinaison des **capacités dans un domaine** (connaissance d'un domaine, capacités techniques), de l'**expertise liée à la créativité** (style de travail, expérience de la production créative) et de la **motivation** (comportement par rapport à un objectif, niveau de contraintes). Ainsi, pour être créatif, un concepteur ne doit pas seulement avoir des dispositions naturelles, il doit aussi se forger l'expérience du travail créatif, en quelque sorte s'entraîner à la créativité, et il doit avoir une envie ou une pression qui le pousse vers les solutions.

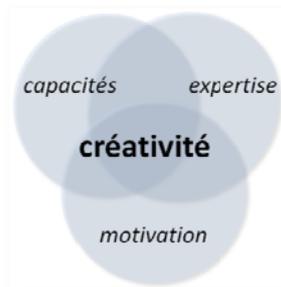


Figure 35 : Les trois composantes de la créativité individuelle [Amabile, 1997]

Au-delà de l'aspect individuel, nous nous intéressons à la dimension **systemique** de la créativité. En effet, plus que sur le designer lui-même, c'est sur un système que nous souhaitons agir pour aider à une meilleure créativité. Dans le modèle proposé par [Csikszentmihalyi, 1999], aujourd'hui largement utilisé, l'individu est en interaction avec un domaine (*domain*) et un champ (*field*). L'**individu** agit sur son environnement en utilisant des connaissances pour produire des idées nouvelles. Le **domaine** correspond à une culture, à un ensemble de connaissances liées à cette culture. Le **champ** représente des personnes qui ont autorité pour décider que telle idée ou telle production est nouvelle, ce sont par eux qu'une production est jugée créative (d'où l'idée que l'évaluation de la créativité doit se faire par des juges extérieurs au processus de création).

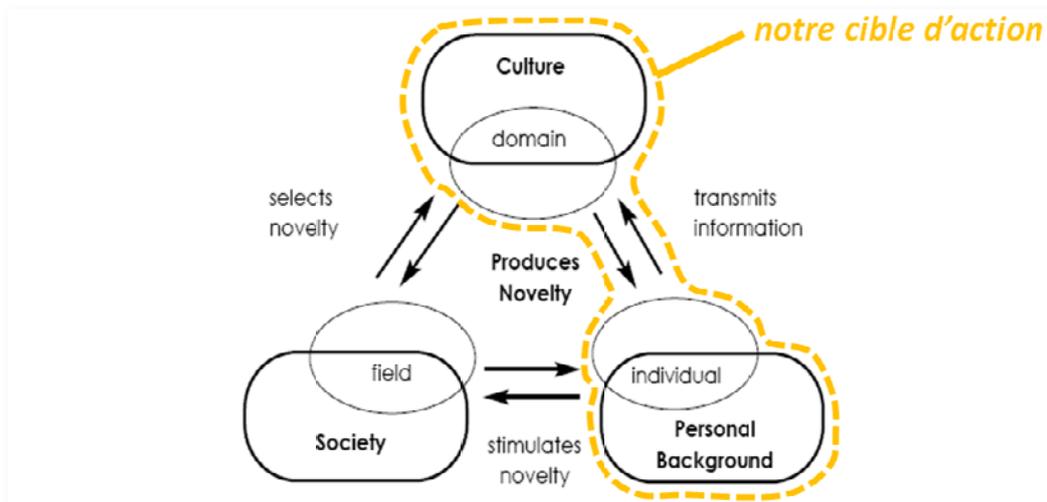


Figure 36 : La créativité vue comme un système d'interactions [Csikszentmihalyi, 1999]

Les possibilités d'action sur le champ (la société) sont assez minces, mais nous pouvons agir sur l'interaction entre l'individu, le designer dans notre cas, et le domaine, les informations, connaissances et données utilisées pour la conception dans notre cas.

2.3.1.1 La créativité en conception peut être aidée et améliorée

Nous visons à l'optimisation du processus de conception en améliorant la créativité. La question est donc de savoir si la créativité *peut* être améliorée. Une étude de [Casakin et al., 1999] incite à penser qu'elle peut l'être. Dans une expérimentation réalisée avec des architectes, novices et experts, [Casakin et al., 1999] montrent que la facilité et la rapidité à faire des analogies dans un contexte de conception est proportionnelle à l'expérience du concepteur. Un architecte expérimenté tendra plus facilement et plus rapidement qu'un novice à identifier les sources qui sont potentiellement utiles à son projet et à faire le transfert des caractéristiques utiles des sources vers son projet. Comme le montrent [Casakin et al., 1999], les performances créatives d'un concepteur ne sont pas figées dans le temps, elles sont malléables et en particulier elles s'améliorent avec la pratique du métier.

L'étude de [Casakin et al., 1999] montre que les designers experts raisonnent par analogie plus facilement que les novices. Ceci implique que **les performances créatives peuvent évoluer**, et en particulier qu'un **outil d'aide à la créativité peut avoir un impact** sur les performances créatives des concepteurs.

2.3.2 **Créativité en conception : la résolution de problème par analogie**

La créativité est une synthèse avec une structure bisociative fondamentale, c'est-à-dire un « enclenchement soudain de deux matrices intellectuelles ou techniques antérieurement étrangères l'une à l'autre ». [Koestler, 1980]

Koestler cite le mathématicien Henri Poincaré : « Parmi les combinaisons choisies, les plus fécondes seront souvent formées d'éléments provenant de domaines fort éloignés ». L'exemple de l'invention d'une machine à imprimer par Gutenberg illustre parfaitement la rencontre entre deux domaines *a priori* éloignés l'un de l'autre : l'idée de la presse à imprimer serait venue de l'union du concept du sceau et de celui du pressoir à vin.

2.3.2.1 **Analogies et conception**

Les concepteurs, designers ou architectes recourent largement au raisonnement par analogie. Dans une série d'expérimentations avec des architectes (novices et experts) par [Casakin & Goldschmidt, 1999], les participants devaient résoudre des problèmes de conception avec ou sans sources visuelles, et avec ou sans contrainte explicite de raisonner par analogie. Cette expérimentation a mis en évidence que les analogies visuelles sont utilisées par les concepteurs et qu'elles améliorent la qualité des solutions proposées, en particulier dans le cas des concepteurs novices. Le raisonnement par analogie est donc une stratégie courante en conception, mais la question est encore de savoir comment ces analogies ont lieu. Voyons d'abord quels sont les principes cognitifs du raisonnement par analogie.

2.3.2.2 **Principe cognitif de l'émergence**

Pour pouvoir développer des systèmes d'aide à la créativité en conception, il est important de comprendre le phénomène d'émergence. En effet, comme l'expliquent [Soufi & Edmonds, 1996], l'émergence joue un rôle crucial dans le processus de conception créative. Les concepteurs visualisent fréquemment des formes émergentes et structurent leur compréhension d'un problème grâce à cette opération cognitive. Un nouveau concept peut émerger du néant. Dans les cas où l'émergence s'appuie sur des informations extérieures, elle consiste à rapprocher deux éléments et à en faire émerger un troisième grâce à une transformation cognitive. Comme on le voit dans le tableau ci-dessous, deux éléments, en l'occurrence deux carrés, peuvent faire émerger une variété d'autres formes selon le point de vue qu'une adopte. Le travail de [Soufi & Edmonds, 1996] est focalisé sur les caractéristiques géométriques et sur l'émergence qui naît de la rencontre de deux espaces de formes. Cet exemple illustre bien le principe de l'émergence à partir de deux formes de base.

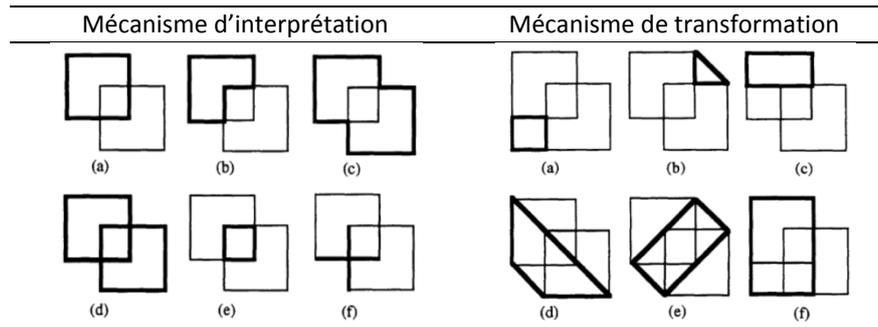


Tableau 2: Exemples de formes émergentes à partir de deux carrés [Soufi & Edmonds, 1996]

Nous nous intéressons au principe d'émergence à un niveau plus général, à la rencontre entre un espace « cible » (l'objectif de conception) et un espace « source » (sources d'inspiration).

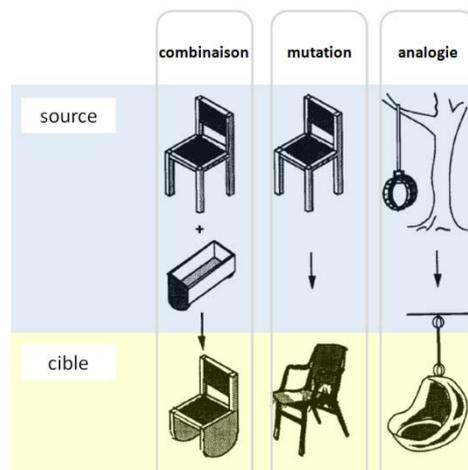


Figure 37: Raisonnements créatifs : de la source à la cible de conception, d'après [Rosenman and Gero, 1992]

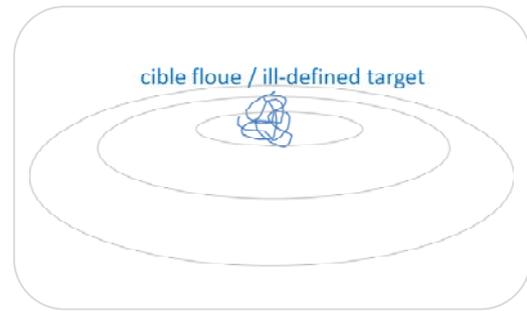
Dans un cadre de psychologie fondamentale, [Anolli et al., 2001] ont réalisé un état-de-l'art sur l'émergence et de nombreuses campagnes d'expérimentations pour décrire les stratégies de réalisations d'analogies. La description du raisonnement par analogie et de l'émergence issue de ces travaux est illustrée dans le tableau ci-dessous. Il existe un consensus sur les grandes étapes consécutives qui composent le raisonnement par analogie, il s'agit de :

- (1) la perception de sources (*encoding of sources*)
- (2) l'évocation de sources inspirationnelles (*retrieval*) et
- (3) l'adaptation d'une ou plusieurs sources à la cible (*mapping*).

Nous illustrons les étapes de la réception du cahier des charges jusqu'à l'émergence, dans le tableau suivant.

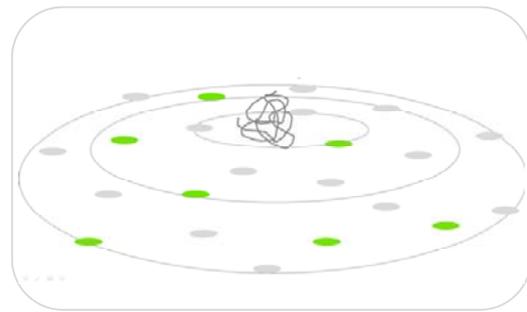
Réception du cahier des charges

le CdC définit incomplètement un objectif de conception.



Perception de sources

Le concepteur découvre des informations potentiellement utiles et inspirationnelles.

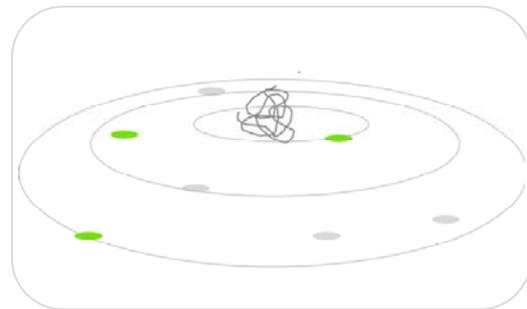


Evocation des sources inspirationnelles

Le concepteur évoque quelques informations potentiellement inspirationnelles.

Autres dénominations :

Retrieval (Holyoak & Koh, 1987; Keane, 1985, 1987; Novick & Holyoak, 1991), search (Hesse, 1991), selection (Clement & Gentner, 1991; Gentner & Toupin, 1986; Holyoak & Koh, 1987; Holyoak & Thagard, 1989), access (Ross, 1987; Ross & Kennedy, 1990; Schunn & Dunbar, 1996).

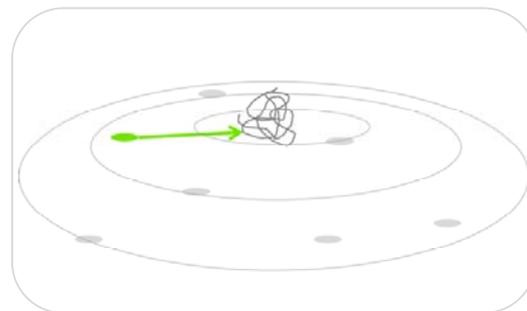


Adaptation des sources sélectionnées à la cible

Le concepteur adapte la source d'inspiration à l'objectif ciblé.

Autres dénominations :

Mapping (Clement & Gentner, 1991; Gentner & Toupin, 1986; Holyoak & Koh, 1987; Holyoak & Thagard, 1989; Novick & Holyoak, 1991), use (Schunn & Dunbar, 1996), applying (Gick & Holyoak, 1983; Gick & McGarry, 1992; Ross, 1987, 1989), and adapting (Keane, 1996; Novick & Holyoak, 1991).



Emergence

Le concepteur formule un nouveau concept.

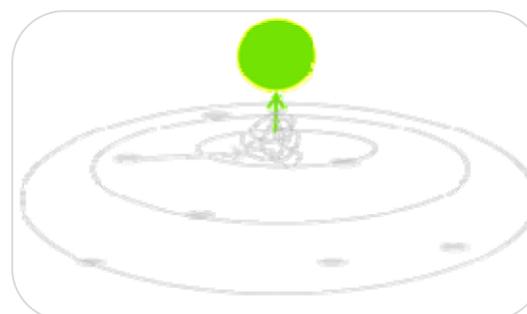


Tableau 3: Raisonnement par analogie, aboutissant à l'émergence d'un nouveau concept, d'après [Anolli et al., 2001]

Dans leur étude, [Anolli *et al.*, 2001] montrent que des sujets, à qui on avait présenté des sources d'informations, ne réussissent pas spontanément à utiliser ces sources pour résoudre un problème par analogie ; ils n'y parviennent que s'ils sont spécifiquement invités à utiliser cette source. La question est de savoir si cet échec est lié au fait que les individus ne trouvent pas la source (dans la phase d'évocation ou *retrieval*) ou si les individus ne parviennent pas à identifier le lien entre source et cible (dans la phase d'adaptation ou *mapping*). La suite de l'étude compare les performances de raisonnement par analogie d'un groupe de sujets (non-designers) à qui l'on indique explicitement quelles sources utiliser et d'un groupe de sujets (non-designers) à qui l'on ne donne pas d'indication particulière sur les sources possibles. Les résultats montrent que le raisonnement par analogie est facilité s'il l'on indique aux sujets quelles sources utiliser.

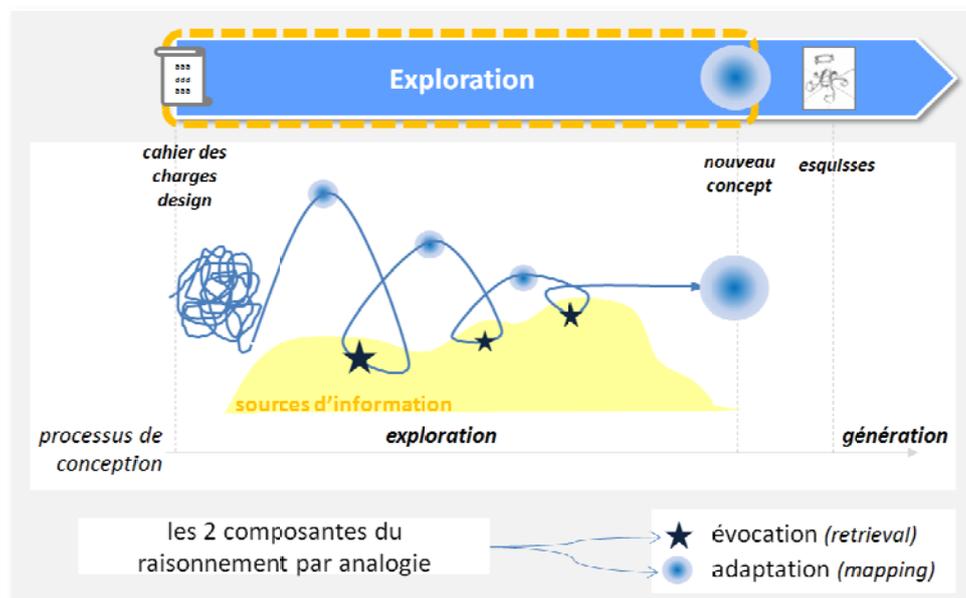


Figure 38: Le raisonnement par analogie consiste en l'évocation de sources et l'adaptation de sources à une cible.

Le raisonnement par analogie est facilité par une aide à l'évocation de sources potentielles (*retrieval*). [Anolli *et al.*, 2001] Une fois évoquée, une source est connectée à la cible, phase appelée **adaptation** (*mapping*), ce qui donne lieu à l'émergence d'un nouveau concept.

2.3.2.3 De la notion de distance entre source et cible

Dans la littérature sur les sources d'inspiration qui servent au raisonnement par analogie, les auteurs mettent en évidence une segmentation des sources qui intègrent une notion de distance entre la source d'inspiration et la cible de résolution d'un problème.

Dans [Malaga, 2000], des étudiants de toutes disciplines sont amenés à résoudre des problèmes divers, de la médecine à la politique, à l'aide d'indices qui proviennent de la même discipline (*close associates*) ou d'autres disciplines (*remote associates*).

Les chercheurs en architecture [Casakin & Goldschmidt, 1999] ont étudié la façon dont des architectes, étudiants ou experts, résolvaient des problèmes d'architecture en se référant au domaine architectural (*within-domain*), ou à l'art, la nature... (*between-domain*). De la même manière, dans l'étude de cas de conception de produits, [Bonnardel & Marmèche, 2005] répartissent les sources en trois types de « domaines », en fonction de la proportion de propriétés communes entre la source et la cible :

- A source is judged as **intra-domain** if, without any ambiguity, it pertains to the "seat" category, which is the category the object to be designed (target object) belongs to (e.g., a dental office chair, a rocking chair, etc.).
- A source is judged **close inter-domain** if it keeps some properties of the seat category but not the most prototypical ones (e.g., we can sit on a sledge or on a rocking horse, but there is no back as is the case for the most typical seat: a chair). [...]
- A source is judged **far inter-domain** if it obviously does not belong to the category of the target object (e.g., a wave or a nest). [Bonnardel & Marmèche, 2005]

Dans le tableau ci-dessous, nous synthétisons les termes trouvés dans la littérature qui mettent en évidence une notion de distance entre une cible, l'objectif du problème à résoudre, et des sources qui permettent de résoudre le problème par analogie.

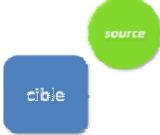
Termes utilisés mettant en évidence une notion de distance					Illustration de la distance entre la source et la cible :
[Bonnardel, 2000]	[Bonnardel & Marmèche, 2005]	[Casakin & Goldschmidt, 1999]	[Malaga, 2000]	[Leclercq & Heylighen, 2002]	
Intra- domain	Intra- domain	Within-domain	Close Associate	Direct Link	
-	Close Inter-domain	-	-	Indirect Link	
Inter- domain	Far Inter-domain	Between-domain	Remote Associate	Extra-contextual Link	

Tableau 4: Nom donné à la source d'inspiration suivant son éloignement d'avec la cible

Dans un contexte de conception de produits, la cible est un produit que l'on cherche à concevoir et la source peut être un produit existant déjà, une référence (*precedents*). Selon la proportion de propriétés communes entre la cible et la source, on appellera la source *intra-domain* (ex : un casque de vélo et un casque de moto), *close inter-domain* (ex : des écouteurs de baladeur et un casque de moto) et *far inter-domain* (ex : une tortue et un casque de moto).

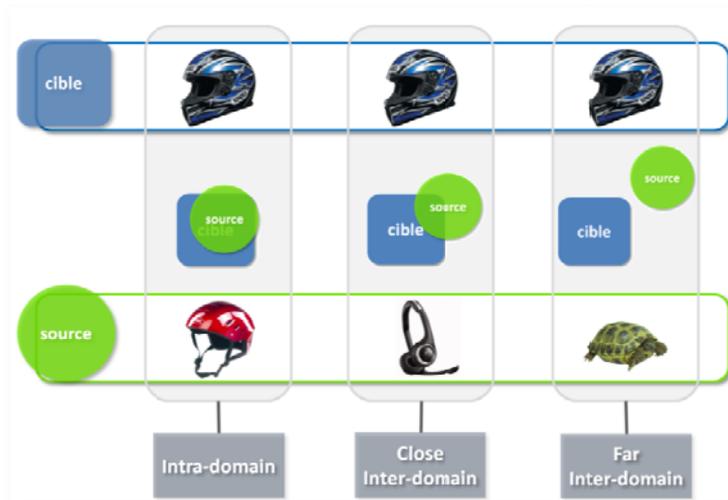


Figure 39: Exemples de sources pour chaque type de domaines, d'après [Bonnardel & Marmèche, 2005]

Cette idée de structure des sources inspirationnelles est particulièrement intéressante dans l'optique de structurer une base d'images pour un outil d'aide à la créativité.

2.3.3 **Evaluation de la créativité**

En conception, et particulièrement en conception innovante, un concepteur cherche à être le plus créatif possible. Au cours d'un projet, les propositions sont régulièrement évaluées ; les chefs de projet et les concepteurs eux-mêmes doivent être capables d'évaluer les propositions d'une équipe de conception afin de faire des choix ; l'évaluation de la créativité est une étape de la prise de décision en conception.

D'autre part, un des leviers d'optimisation du processus de conception est l'amélioration de la créativité ; on doit donc pouvoir évaluer le différentiel de créativité généré par l'utilisation de nouveaux outils ou de nouvelles méthodes de conception. Dans notre projet de recherche, nous proposons un logiciel adapté de l'Analyse de Tendances Conjointe, l'évaluation de cet outil passe par l'observation des performances créatives des concepteurs qui utilisent ce logiciel. Comment donc évaluer la créativité d'un résultat de conception ?

2.3.3.1 **L'évaluation courante**

2.3.3.1.1 *De quel objet peut évaluer la créativité?*

En psychologie, l'évaluation de la créativité consiste en la mesure des performances individuelles de sujet humain à des épreuves de créativité faisant appel à la pensée divergente ; on peut citer par exemple le test de Torrance créé en 1973 [Torrance, 2004] ou le test de Guilford créé en 1950 [Guilford, 1967], couramment utilisés pour mesurer les facultés créatives comme on mesure un Q.I.

Dans le contexte du génie industriel, nous nous intéressons au processus et aux produits résultants du processus de conception. Dans la littérature scientifique ainsi que dans la pratique industrielle, l'évaluation de la créativité consiste en l'évaluation d'une production créative. Cette dernière peut être représentée sous une forme plus ou moins aboutie selon l'avancement du projet ; ainsi, on pourra évaluer une esquisse ou un rough, un modèle CAO, un prototype... Suivant l'étape du projet, c'est la représentation intermédiaire disponible qu'on évaluera, indépendamment des facultés créatives du concepteur.

2.3.3.1.2 *Qui doit évaluer la créativité?*

Pour le théoricien de la créativité [Csikszentimihalyi, 1996], le jugement par des personnes extérieures est crucial, c'est d'ailleurs un élément majeur de sa définition de la créativité. Si les concepteurs évaluent régulièrement leur propre travail, l'évaluation de la créativité d'un produit n'est valide et acceptable que si elle émane d'une personne autre que le concepteur lui-même.

2.3.3.1.3 Quels critères utiliser ?

Globalement, il existe un consensus sur le choix des critères d'évaluation de la créativité. Dans l'état-de-l'art sur le sujet de [Howard et al., 2008] montré dans le tableau-ci-dessous, on retrouve la liste de critères proposés par 15 équipes de chercheurs spécialisés sur la créativité en conception. Pour tous ces auteurs, l'évaluation de la créativité repose sur 2 critères majeurs qui sont l'**originalité** (*novel, original, innovative...*) et la **faisabilité** ou praticité (*appropriate, useful, meaningful...*). Un troisième critère peut figurer dans l'une ou l'autre des études citées (*unobvious, unexpected...*), la pertinence de ce critère additionnel est moins évidente à nos yeux et dépend des caractéristiques du contexte d'évaluation.

Au regard de l'expérience du laboratoire CPI au sein de projets avec PSA-Peugeot-Citroën, nous précisons que le critère d'originalité n'est valide que s'il est évalué par rapport à un champ de référence ou par rapport à un secteur industriel ; par exemple, PSA définit quatre degrés de « nouveauté » :

- *nouveau pour l'entreprise*
- *nouveau pour le monde automobile*
- *nouveau pour le monde des transports*
- *nouveau pour le monde des produits en général*

→ Nous gardons donc ces deux critères d'évaluation : nouveauté (pour un champ donné, à définir selon les objectifs du projet) et faisabilité.

Definitions	Originality			Appropriateness					Third Element										
	Novel	Original	New	Appropriate	Useful	Purposeful	Value	Meaningful	Tenable	Satisfying	Unobvious	Adaptive	Leap	Change	Unexpected	Communicated	Transformation	Comparisons	Resourceful
Jackson and Messick (1965)	X			X													X	X	
Stein (1974)	X				X				X	X			X	X					
MacKinnon (1975)	X								X			X				X			
Rothenberg and Hausman (1976)			X				X									X			
Simon (1979)	X						X												
Amabile (1983)	X			X															
Sternberg (1988)	X				X														
Lumsdaine and Lumsdaine (1995)			X					X											
Gero (1996)			X				X								X				
Marakas and Elam (1997)	X				X														
Thompson and Lordan (1999)			X		X														
Warr and O'Neill (2005)	X			X															
Chakrabarti (2006)	X					X													X
Howard et al. (2006)		X		X						X									
Lopez and Vidal (2006)	X					X				X									

Tableau 5 : Critères d'appréciation de productions créatives (« Creative output definition » [Howard et al., 2008])

[Amabile, 1983] propose un critère additionnel de *correct response* et [Nakakoji, 1997] de *valuable output*. En effet, à part dans un contexte artistique où une œuvre est conçue librement, une production créative est souvent la réponse à une demande particulière. Dans un projet de conception, la production créative est une réponse à une commande de clients internes ou externes. Donc, dans un contexte de conception, la solution design doit non seulement être créative (originale et utile) mais elle doit répondre au cahier des charges initial ou aux spécifications requises en intégrant des contraintes spécifiques, si bien que nous jugeons indispensable d'ajouter un critère d'adéquation au cahier des charges.

Enfin, nous notons que [Sarkar & Chakrabarti, 2007] ont montré que l'évaluation de la créativité de manière intuitive par des experts sur les deux critères de nouveauté et d'utilité est fiable. En effet, après avoir développé un outil numérique sophistiqué d'évaluation de la créativité basé sur un nombre importante de critères, ils ont montré que les résultats d'évaluation de la créativité de l'une (évaluation subjective sur 2 critères) et l'autre (évaluation semi-automatisée sur de nombreux critères) étaient équivalent.

En combinant l'état-de-l'art [Howard et al., 2008] et l'expérience industrielle du LCPI, nous gardons donc trois critères d'évaluation de la créativité : **nouveauté** (pour un champ donné, à définir selon les objectifs du projet), **faisabilité** et **adéquation au cahier des charges**, que nous jugeons pertinents dans le cadre de la recherche-action.

2.3.3.2 Une méthode de plus en plus répandue : la « linkographie »

Gabriela Goldschmidt, architecte qui a beaucoup publié sur la modélisation de l'activité de conception, proposait en 1990 une méthode d'évaluation de la qualité des idées en conception : la linkographie [Goldschmidt, 1990] cité par [Goldschmidt & Tatsa, 2005]. Comme son nom l'indique, la linkographie est l'étude des liens (*links*) entre les idées qui sont produites au fil du processus de conception, basée sur la notion de flux créatif (*flow*) décrit par [Csikszentimihalyi, 1996].

La linkographie est une méthode de relevé et d'analyse du processus de conception qui se focalise sur les liens entre les idées (*design moves*). Le relevé de ces liens est rendu possible grâce à la verbalisation des concepteurs qui sont invités à exprimer à voix haute toutes les idées qui leur viennent à l'esprit. Le relevé et l'analyse des liens sont réalisés par des évaluateurs externes qui, en se basant sur leur expertise en conception, décident que telle et telle idée ont un lien. Chaque idée est passée en revue de manière à identifier tous les liens qu'elle possède avec d'autres idées. Comme [Gruber, 1980], Goldschmidt rappelle que le nombre et la densité de liens entre idées sont de bons indicateurs de la qualité du processus créatif.

*Interesting creative processes almost never result from single steps, but rather from **concatenations** and **articulation** of a complex set of interrelated moves. [Gruber, 1980] cité par [Goldschmidt & Tatsa, 2005]*

Par exemple, dans le linkographe ci-dessous, l'idée 18 pointée par la flèche bleue peut être considérée comme une « bonne » idée car elle est liée à de nombreuses autres idées.

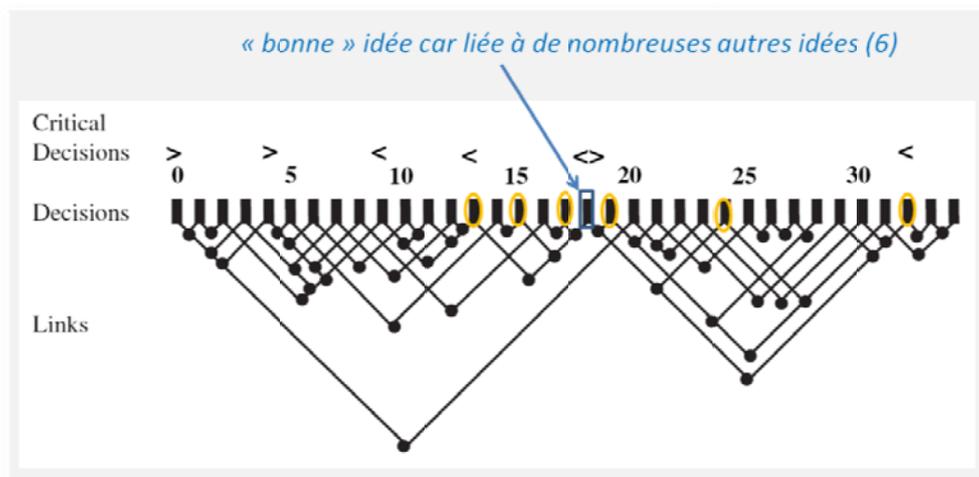


Figure 40: Exemple de linkographe [Goldschmidt & Tassa, 2005]

Un linkographe donne une vision globale du processus de production d'idées et permet de mettre en évidence les meilleures idées qui ont été produites. Cette méthode est de plus en plus utilisée par les chercheurs qui veulent une évaluation fine d'un ensemble d'idées générées en une séance de réflexion [Van der Lugt, 2003] [Cai & Do, 2007] [Bilda & Gero, 2007]. La linkographie apparaît donc particulièrement pertinente dans l'étude de la créativité de groupe, où les idées produites peuvent être nombreuses et difficile à hiérarchiser.

La linkographie [Goldschmidt, 1990] est une méthode d'évaluation de la créativité par l'étude des liens existants entre les différentes propositions. Cette méthode est cohérente avec les modèles cognitifs de la créativité basés sur la notion de flux.

En revanche, il semble qu'elle soit une méthode trop sophistiquée et trop coûteuse par rapport aux attentes et aux besoins industriels d'évaluation de la créativité.

2.3.4 Evaluation de l'impact des sources d'inspiration sur la créativité des concepteurs

Le raisonnement créatif est donc une transformation, par des opérations cognitives du concepteur, d'une ou de plusieurs sources d'inspiration en une cible. On a vu que la visualisation d'images pendant la phase d'exploration aide les designers à évoquer des idées en plus grand nombre et de meilleure niveau créatif. Nous savons donc que les images impactent la créativité, mais nous ne savons pas **comment** elles l'impactent.

Savoir comment les images impactent la créativité est un point crucial pour le développement d'outil d'aide à la créativité : nous avons besoin de savoir quel **type d'images** montrer aux designers pour favoriser leur créativité. Il existe très peu d'études qui tentent une analyse du rôle des images sur la créativité, nous les passons en revue dans ce paragraphe.

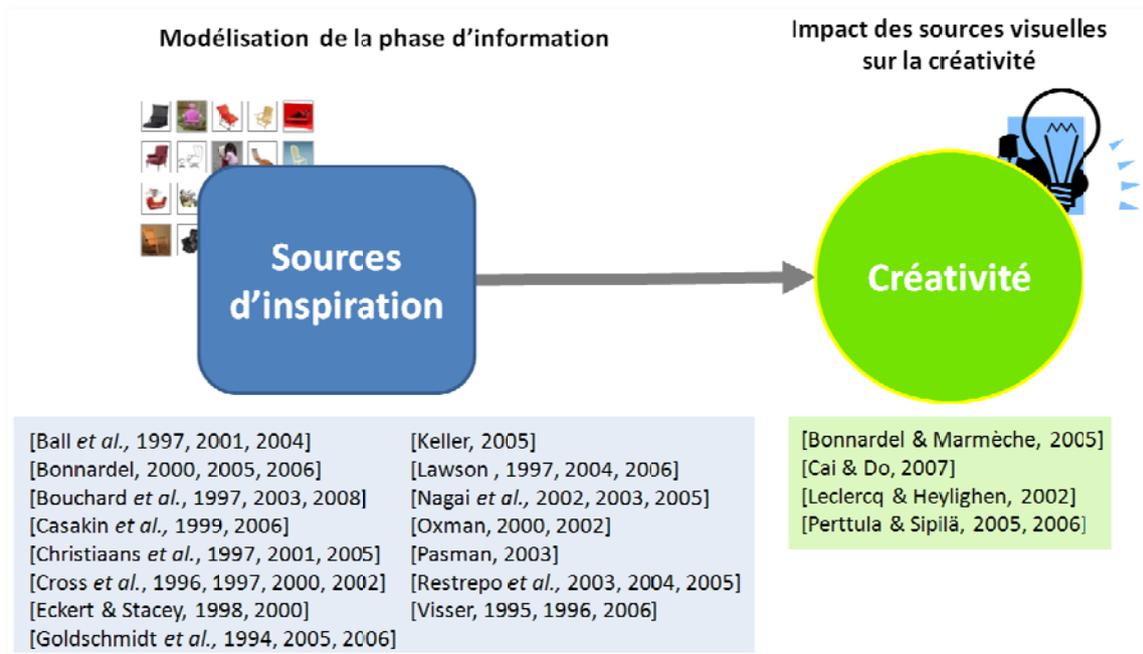


Figure 41: Impact des sources d'inspiration sur la créativité des concepteurs : peu de travaux référencés

Ces études sont, à notre connaissance, les seules recherches qui visent à expliciter les relations entre la phase d'exploration et la phase de génération. L'influence de la phase d'exploration sur la phase de génération est explorée grâce à des protocoles expérimentaux qui impliquent des concepteurs dans des situations de conception, de l'utilisation de ressources inspirationnelles jusqu'à l'évocation d'idées [Bonnardel & Marmèche, 2005] ou même jusqu'à la représentation de solutions [Leclercq & Heylighen, 2002]. Nous présentons ici la démarche et les apports de ces deux études qui nous paraissent particulièrement pertinentes par rapport à notre problématique.

[Leclercq & Heylighen, 2002] avaient pour objectif de décrire le raisonnement par analogie en conception et le rôle des images dans ce raisonnement.

Ils ont reproduit une situation de conception créative avec 3 participants (architectes) qui devaient répondre un cahier des charges (conception d'un intérieur de bateau de plaisance) en utilisant des sources d'inspiration mises à leur disposition (photos d'intérieur de bateau, de matériel nautique, de paysage...) dont on voit un extrait ci-dessous. Pour observer le processus, les expérimentateurs ont demandé aux designers de verbaliser leurs pensées (*think-aloud*) et des entretiens à la suite de l'exercice de conception ont permis de revenir sur certains instants de l'exercice.



Figure 42: Extrait des sources d'inspiration fournies aux concepteurs, dans l'étude de [Leclercq & Heylighen, 2002]

Bien que réalisée avec un panel de sujets limité (3 sujets), cette expérimentation a permis d'analyser finement la façon dont les analogies sont réalisées lors du processus de conception ; un total de 44 analogies ont été réalisées par les 3 sujets.

Les expérimentateurs ont décrit chacune des analogies réalisées grâce à un diagramme générique (figure ci-dessous) représentant les constituants du raisonnement par analogie, en particulier les constituants majeurs que sont la cible (*target*) et la source (*base*), ainsi que le type d'analogie réalisée (*range / type / mode*). Pour [Leclercq & Heylighen, 2002], une analogie peut être décrite par les caractéristiques suivantes :

- le type de lien entre la source et la cible (*range*) : lien direct / lien indirect / hors-contexte [cette caractéristique est à rapprocher de la notion de distance entre la source et la cible]
- le type d'analogie (*type*) : analogie spontanée / forcée (le concepteur s'était fixé consciemment l'objectif de réaliser une analogie avec telle source)

- le mode de raisonnement (*mode*) : analogie consciente / inconsciente (le concepteur a raisonné par analogie sans s'en rendre compte, en utilisant des connaissances tacites)

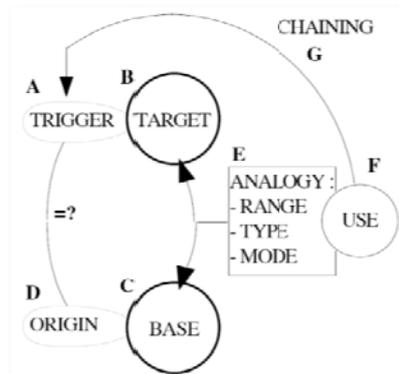


Figure 43: Diagramme des constituantes du raisonnement par analogie proposé par [Leclercq & Heylighen, 2002]

Toutes les analogies réalisées pendant l'expérimentation ont été décrites par les expérimentateurs selon le diagramme ci-dessus, de manière à obtenir la fréquence d'occurrence de tel ou tel type d'analogie.

Les résultats de l'expérimentation confirment tout d'abord que le raisonnement par analogie est quasiment **continu** pendant la résolution d'un problème de conception : dans cette expérimentation, 5,8 analogies par heure et par concepteur ont été réalisées. Bien qu'il existe une grande **variabilité interindividuelle**, dans la quantité (4,8, 6.0 ou 6.8 analogies/heure) comme dans le type d'analogies réalisées (33%, 40% ou 88% d'analogies réalisées grâce aux connaissances personnelles plutôt qu'aux documents fournis), le raisonnement par analogie est globalement un trait majeur du processus cognitif des designers. D'autre part, les auteurs soulignent que le raisonnement par analogie est une **stratégie qui « marche bien »** dans la réalisation d'un exercice de conception : 75% des analogies (classées '*success*') ont fourni des idées qui permettaient de poursuivre de manière constructive le raisonnement créatif ; tandis que seulement 25 % ne permettaient pas de trouver une solution (*failure*) ou n'ont pas été utilisées dans la suite du problème de conception (*unused*).

Parmi les analyses présentées, nous retenons que les analogies sont réalisées en majorité **spontanément** (70 % des analogies réalisées) sans que le concepteur en ait l'intention, plutôt que de manière contrôlée et volontaire (30%). D'autre part, les informations utilisées pour la réalisation d'analogies sont pour 66 % des analogies réalisées, des **caractéristiques extraites de la source et de la cible** (pour les 34% restants, il s'agit d'analogies entre objets entiers ou entre relations entre objets) ; ce point signifie que les designers arrivent, consciemment ou non, à extraire d'une image les informations qui leur seront utiles dans la réalisation d'une analogie. Enfin, nous notons également que les designers font appel à la fois à leurs **connaissances** (pour 57% des analogies réalisées) et à

des **sources extérieures** (pour 43%). Les auteurs expliquent que les designers ont recours à une combinaison de deux stratégies de raisonnement par analogie : une stratégie basée sur les connaissances personnelles et l'expérience et une stratégie basée sur des sources extérieures délivrées juste-à-temps (*just-in-time*), c'est-à-dire peu de temps avant que le travail créatif ne commence.

[Leclercq & Heylighen, 2002]

Cette étude confirme que l'activité de design implique largement le raisonnement par analogies ; ces analogies sont majoritairement spontanées et elles s'appuient à la fois sur les connaissances tacites du designer et sur des documents visualisés juste avant le raisonnement créatif. Les designers sont capables, consciemment ou non, d'extraire des images des détails qui sont utiles à la construction d'une analogie. Enfin, les designers recourent tant à leurs connaissances personnelles qu'à des sources d'informations extérieures pour réaliser des analogies ; ce dernier point valide la pertinence d'un outil d'aide à la phase exploratoire par l'apport de sources d'inspiration aux designers.

[Bonnardel & Marmèche, 2005] avaient pour objectif d'observer le processus d'évocation chez les designers, en étudiant la perception par des concepteurs de l'utilité d'une source inspirationnelle ; les différences entre concepteurs débutants et experts étaient également étudiées.

Un cahier des charges de conception (conception d'un fauteuil pour cyber-café) et des sources d'inspiration étaient présentés aux concepteurs (18 novices et 9 experts).



Figure 44: Exemples de sources d'inspiration intra-domain, inter-domaine proche, inter-domaine éloigné (de g. à dr.)

Les sources d'inspiration (photos d'artefacts) étaient plus ou moins éloignées de la cible: 6 sources intra-domaine, 6 sources inter-domaine proche et 6 sources inter-domaine éloigné (voir les définitions §2.3.2.2). En visualisant chacune des sources inspirationnelles, les participants étaient invités à dire quel aspect lui paraissait intéressant pour résoudre le problème de conception et ils devaient juger de l'utilité de chacune des sources inspirationnelles.

Les expérimentateurs ont ensuite analysé les réponses des participants et réparti tous les aspects évoqués dans l'une des catégories suivantes: l'aspect **fonctionnel** lié à l'usage du produit, l'aspect **structural** lié à l'architecture du produit, l'aspect **affectif** lié aux sensations et aux émotions procurées par le produit, l'aspect **esthétique** lié au style, au look du produit. L'analyse a également porté sur les différences liées aux types de sources : **intra-domaine**, **inter-domaine proche** et **inter-domaine éloigné**.

Dans les analyses, nous retenons que d'une manière générale, les **novices évoquent moins d'aspects** utiles par source (les novices extraient 1.38 éléments intéressants par source contre 2.29 pour les experts). Ceci confirme que les performances du raisonnement par analogie s'améliorent avec l'expérience. Il est intéressant de constater que, les novices évoquent moins d'aspects des sources que les experts **particulièrement quand il s'agit de sources inter-domaine** proche et inter-domaine éloigné, la différence est moindre quand il s'agit de sources intra-domaine. On en déduit que les concepteurs experts savent plus facilement que les novices évoquer des sources éloignées de la cible. Ce point est important dans la perspective d'une aide à la créativité (nous verrons qu'une de nos hypothèses est que l'éloignement source-cible favorise la créativité).

Dans les mêmes proportions pour les novices et pour les experts, les aspects qui sont évoqués en majorité sont les **aspects fonctionnels** (42 % des aspects évoqués par les novices et 39 % par les experts). Dans une moindre mesure, les concepteurs évoquent les aspects structurels et affectifs ; quant aux aspects esthétiques, ils ne retiennent presque pas l'intention des concepteurs (4% des aspects évoqués par les novices et les experts).

Enfin, il est intéressant de rapprocher le type d'aspect évoqué et la nature de la source. Le tableau ci-dessous montre les résultats pour les aspects évoqués par les designers experts.

Nature of sources Evoked aspects	Intra-domain	Close inter-domain	Far inter-domain	Total
Functional	49	36	30	39
Structural	21	36	30	28
Affective	18	18	32	22
Aesthetic	6	3	2	4
Other	6	70	6	7

Tableau 6: Proportions des différents types d'aspects évoqués par les designers experts en fonction du type de sources

Nous voyons que les aspects fonctionnels sont principalement extraits des sources intra-domaine et que les aspects affectifs viennent majoritairement des sources éloignées de la cible. Il semble donc qu'en s'éloignant de la cible, les sources d'inspiration apportent des éléments plus abstraits, des

informations plus globales sur le produit ; nous proposons de schématiser cette tendance par la figure ci-dessous. Ce point est à retenir dans notre perspective de développement d'un outil d'aide au raisonnement par analogie.

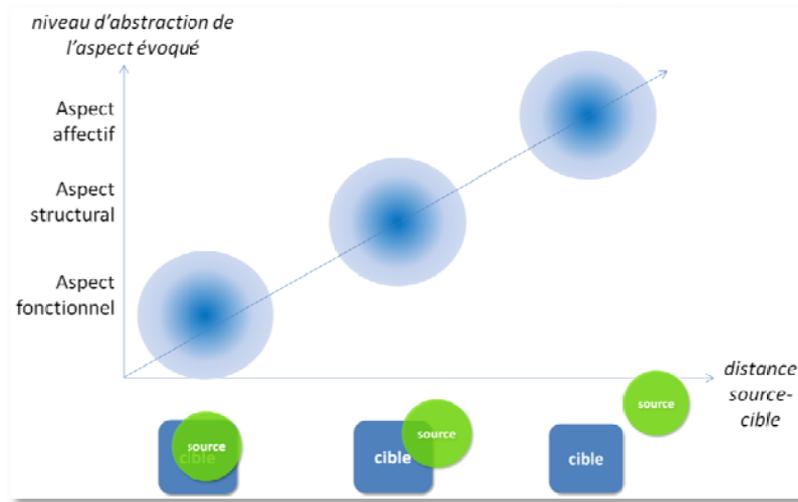


Figure 45: Schématisation de la relation entre le niveau d'abstraction de l'analogie et la distance source-cible

[Bonnardel & Marmèche, 2005]

Cette étude se focalise sur l'opération d'évocation à partir de sources inspirationnelles. On observe que les novices parviennent moins facilement que les experts à évoquer des aspects intéressants des sources d'inspiration, et ce plus particulièrement quand les sources sont éloignées de la cible. On note que les évocations portent principalement sur les aspects fonctionnels, dans une moindre mesure sur les aspects structurels et affectifs, et pratiquement pas sur les aspects esthétiques. Enfin, certaines sources favorisent l'évocation de certains aspects : en effet, on observe qu'à mesure que la source s'éloigne de la cible, le niveau d'abstraction des aspects évoqués de cette source augmente.

2.4 Numérisation du processus de conception

Après avoir vu la dimension cognitive du processus de conception, nous présentons ici l'aspect informatique de la conception, la numérisation de la conception étant un enjeu majeur.

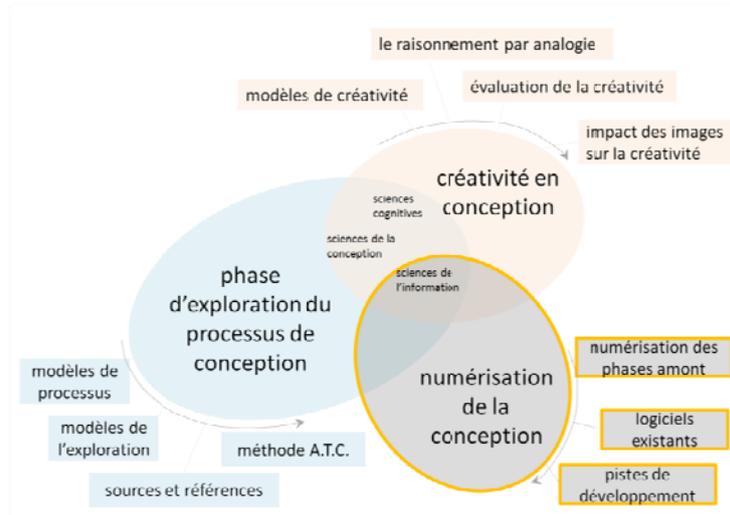


Figure 46 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la numérisation de la conception

Le processus de conception de produits tend aujourd'hui à être presque complètement numérisé, grâce au développement d'outils de fabrication assistée par ordinateur (FAO) ou de conception assistée par ordinateur (CAO). La numérisation est une étape nécessaire pour accélérer et fiabiliser le processus de conception, en permettant entre autres la réutilisation rapide des connaissances [Bernard & Fisher, 2002].

Il est intéressant de faire un état-des-lieux des tendances du marché à travers l'exemple de Dassault Systèmes, concepteur du logiciel CATIA et leader mondial de l'édition de logiciels d'aide à la conception. On constate que si les concepteurs disposent d'outils de conception performants dans les phases de conception détaillée, il n'en est pas de même pour les phases de conception générale ou phases d'exploration. Il n'existe pas encore sur le marché de logiciel de l'importance de CATIA qui aiderait les designers dans la recherche de ressources inspirationnelles. → § 2.4.1 Cependant, depuis une petite décennie, quelques laboratoires de recherche du milieu académique, en particulier des équipes de la TU Delft aux Pays-Bas, ont lancé des travaux sur cette thématique ; ces travaux se concrétisent par le développement de **logiciels** qui permettent la recherche de ressources inspirationnelles pour la conception ; nous présentons ici les quelques exemples de logiciels disponibles aujourd'hui. → § 2.4.2 Pour poursuivre et approfondir les travaux sur la numérisation de la phase d'exploration en conception, il est judicieux de s'appuyer sur les **pistes recommandées** par

des chercheurs dans l'optique d'un développement de logiciels parfaitement adapté à l'activité de design. On note que ces recommandations sont issues travaux d'observation de l'activité de conception et n'ont pas forcément donné lieu au développement de logiciel. → § 2.4.3

2.4.1 **Vers une numérisation toujours plus amont : la stratégie de Dassault Systèmes**

Depuis presque 30 ans, le processus de conception s'est numérisé, morceau par morceau ; parmi les éditeurs de logiciels d'aide à la conception, on peut nommer Think3, Alibre Design, Autodesk Inventor, T-FLEX CAD... Certains s'intéressent de plus en plus à la numérisation des phases amont, tels que Think3 (*ThinkDesign Styling*) et Dassault Systèmes (*CATIA V5 Conceptual Design*). Dassault Systèmes est depuis quelques années le premier éditeur mondial de logiciels d'aide à la conception (100 000 clients dans le monde, 31 % des parts de marché en 2007); ses choix stratégiques sont donc de bons indicateurs des tendances de l'activité et des pratiques de conception numérique ; or il nous semble indispensable de mettre en regard recherche académique et pratiques du monde industriel.

Les métiers de la conception sont aujourd'hui largement informatisés et les outils informatiques tendent à être utilisés tout au long du cycle de conception. On cite d'ailleurs fréquemment l'exemple du Falcon 7X de Dassault Aviation, qui était en 2004 le premier appareil à être entièrement conçu sur plateforme virtuelle. La bonne santé d'une entreprise comme Dassault Systèmes est le reflet d'une implantation croissante des outils informatiques de support à la conception dans le monde industriel.

*Nos **applications logicielles permettent aux entreprises de tous les secteurs de définir et de simuler numériquement les produits** ainsi que les procédés et les ressources nécessaires à leur fabrication [...]. Nos marques Solidworks, CATIA, SIMULIA, DELMIA, ENOVIA et 3DVia révolutionnent la **manière dont les entreprises conçoivent et développent leurs produits** en offrant une vision en 3D de l'ensemble du cycle de vie du produit. En qualité d'élément-clé du PLM collaboratif, CATIA permet aux industriels de créer leurs futurs produits en assurant le **support de l'ensemble du processus de conception.***

[www.3ds.com, site web de Dassault Systèmes. Juin 2008]

Le développement d'outils d'aide à la conception doit s'appuyer sur une implication des utilisateurs finaux (ingénieurs, concepteurs, designers). Le développement de logiciels comme CATIA passe par le recueil des besoins des utilisateurs et une observation de leur activité de conception ; ces besoins sont analysés et traduits en spécifications informatiques qui sont communiquées aux ingénieurs de développement chargés de donner corps au logiciel. Des états intermédiaires du logiciel (prototypes) peuvent être ensuite fournis aux utilisateurs ; leurs retours sont alors collectés lors d'une nouvelle

itération. C'est la même approche itérative qui a été suivie dans notre projet d'application TRENDS (§ 4.1).

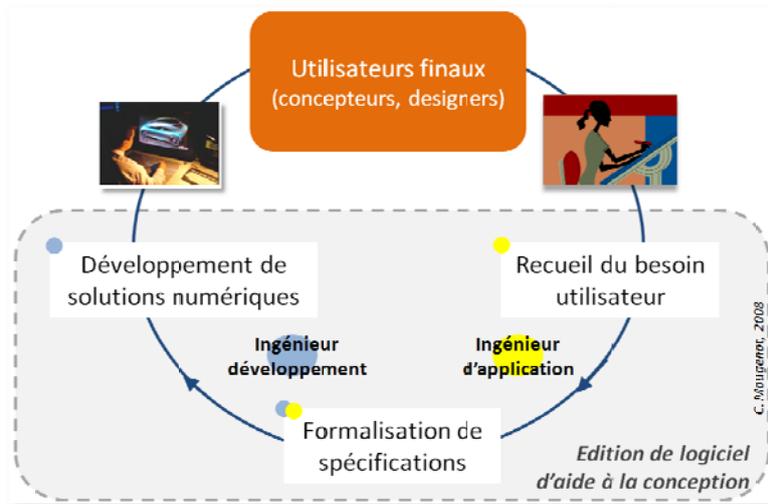


Figure 47: Le développement d'un logiciel d'aide à la conception doit intégrer les pratiques et besoins des concepteurs.

Si les phases de conception détaillée sont aujourd'hui presque intégralement informatisées, il n'en est pas de même pour la phase d'exploration. Dassault Systèmes se targue de fournir des outils de support à l'ensemble du processus de conception, mais le portfolio d'outils destinés à supporter les phases les plus amont (*Conceptual Design* dans le vocabulaire de D.S.) ne fournit pas d'outils dédiés à la phase d'exploration. En effet, les outils existants permettent construire un modèle virtuel à partir du moment où l'idée est déjà formalisée par une image mentale du concepteur.

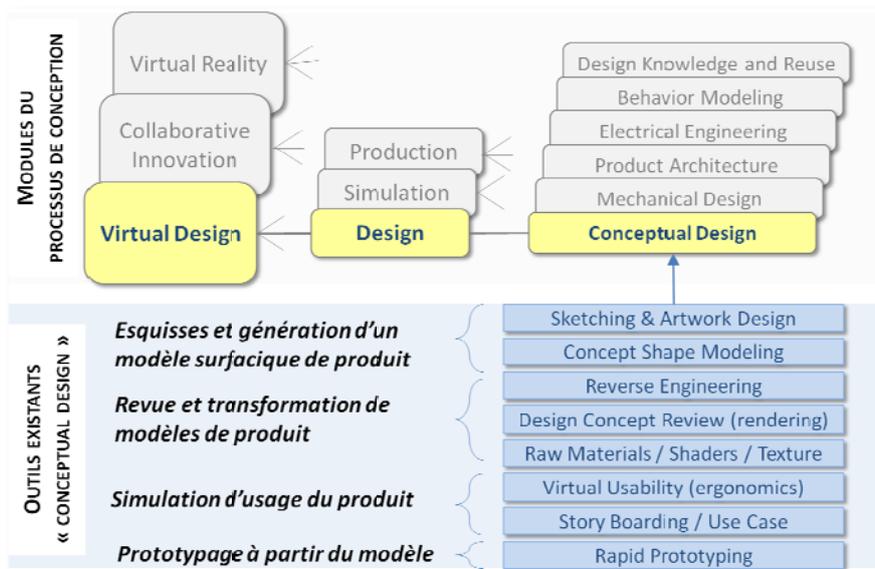


Figure 48: Portfolio des outils proposés par Dassault Systèmes pour la phase de « Conceptual Design », d'après le site web de Dassault Systèmes [www.3ds.com]

En somme, les outils existants permettent de créer une représentation externe d'un concept mais ils ne permettent pas encore d'aider le concepteur dans son raisonnement créatif, depuis la réception d'un cahier des charges jusqu'à la formulation d'un concept ; le portfolio de D.S. fournit donc des outils pour l'ensemble du cycle de conception de produits à l'exception de la phase d'exploration, qui est pourtant cruciale pour la suite du processus de conception, comme on l'a vu en § 2.1.

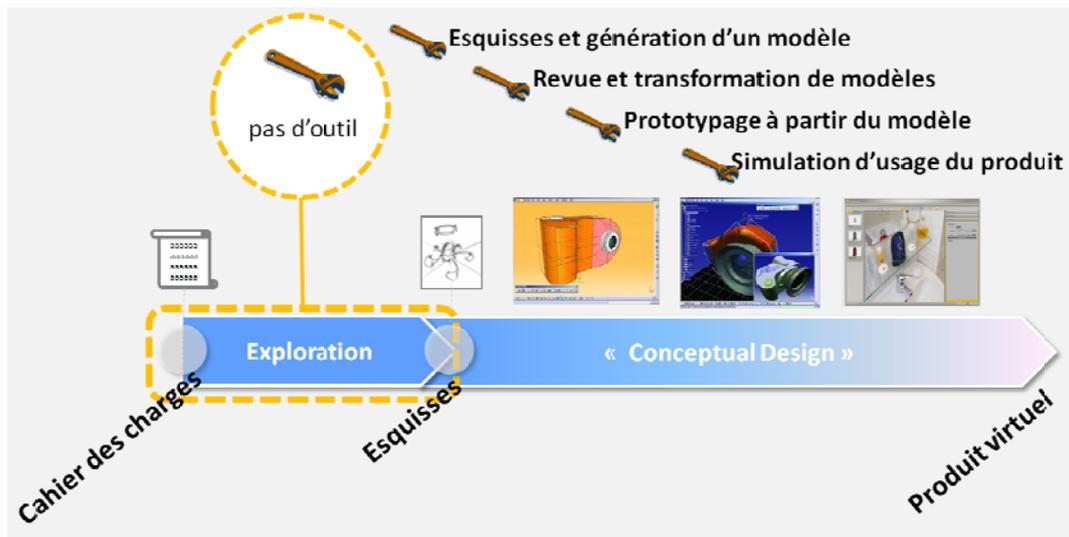


Figure 49: Dans le portfolio Dassault Systèmes, il n'existe pas encore d'outils numériques d'aide à l'exploration

Cette lacune se justifie aisément : on a vu en § 2.3 que la phase d'exploration repose sur un processus cognitif complexe des concepteurs. Ces processus étant complexes, implicites, voire « mystérieux », leur modélisation requiert plus de travail de recherche, en particulier en impliquant une approche en sciences cognitives. Aujourd'hui, la phase d'exploration étant peu décrite ou modélisée, il est difficile de formuler des spécifications de développement d'outils informatiques.

Cela dit, depuis une dizaine d'années, des logiciels de support à l'exploration commencent à apparaître, la plupart du temps développés par des laboratoires de recherche du milieu académique, comme nous le montrons dans la section suivante. Dans le sillage de ces travaux initiés par le monde de la recherche dans les années 90, Dassault Systèmes a créé un poste de Vice-Président « Design Experience » en mars 2008 pour lequel Anne Asensio (ex- Design Manager de General Motors) a été recrutée. La numérisation des phases amont de la conception et des activités de design industriel est devenue un des points mis en avant dans la communication de Dassault Systèmes [Conférence d'Anne Asensio, Salon Européen de la Recherche et de l'Innovation, Paris, 6.06.2008]. Dassault Systèmes ne donne guère d'informations quant à la forme que prendront les logiciels développés à cet usage, mais on perçoit que la numérisation de toutes les phases du processus de conception, y

compris les phases très amont liées aux métiers du design industriel, est devenue cruciale pour les acteurs du monde industriel, ce qui confirme la pertinence de notre recherche.

2.4.2 Quelques outils numériques d'aide à l'exploration

Si le monde industriel commence tout juste à s'intéresser à numériser la phase d'exploration, le monde de la recherche académique s'est attelé à la tâche depuis quelques années déjà. En effet, depuis une dizaine d'années, les chercheurs du laboratoire de design industriel de la TU Delft aux Pays-Bas [Pasman, 2003], [Keller, 2005], [Restrepo, 2005] travaillent activement sur l'élaboration d'outils d'aide à la recherche de ressources inspirationnelles, en étudiant intensivement l'activité des concepteurs et designers industriels.

En observant l'activité des designers, il a été montré que la recherche de ressources inspirationnelles se faisait traditionnellement par la visualisation d'images collectées dans des magazines [Keller, 2005], la numérisation de cette activité consiste donc dans un premier temps à développer des logiciels de recherche d'images. La plupart des outils de recherche d'images développés aujourd'hui consiste en une base de d'images recueillies et annotées manuellement et en un moteur de recherche qui fonctionne par mot-clés ou par similarité de contenu de l'image (similarité de couleur par exemple).

[Pasman, 2003] propose le logiciel ProductWorld ; ce logiciel permet l'indexation de 'design précédents' dans une base de données et leur recherche à l'intérieur de cette base. L'indexation implique de créer des structures de connaissances design ; celles-ci sont réalisées en disposant spatialement les produits les uns par rapport aux autres selon différents critères de similarité. La recherche d'images de produits se fait dynamiquement parmi des petits ensembles de produits.

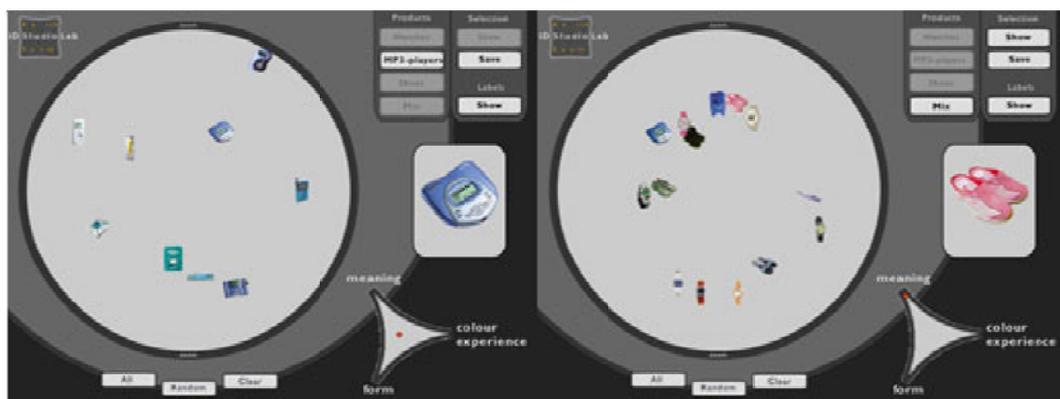


Figure 50 : ProductWorld [Pasman, 2003]

[Restrepo, 2005] propose également un moteur de recherche basée sur une analyse des descripteurs de l'image (couleur, répartition de la couleur dans l'image, texture...). Les requêtes formulées peuvent ainsi être des descriptions de caractéristiques ou des images servant d'exemples ou de contre-exemples.

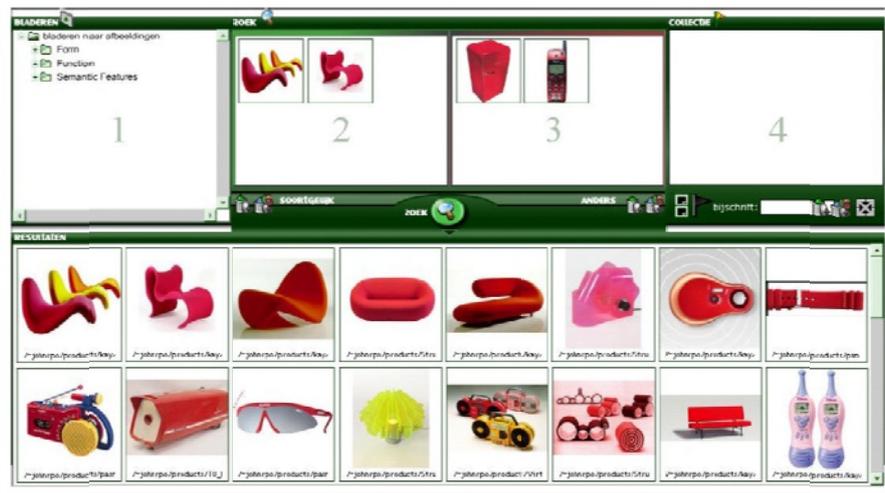


Figure 51 : Moteur de recherche d'images dont les entrées sont des images exemples (case 2) ou des images contre-exemples (case 3) [Restrepo, 2005]

En parallèle de ce travail, [Keller, 2005] a proposé d'appliquer un mode d'interaction innovant avec le moteur de recherche d'images : son outil Cabinet affiche les images sur un écran tactile et le concepteur peut les déplacer ou les modifier par opérations de la main. Ce travail est basé sur l'hypothèse qu'un mode d'interaction ludique favorise la créativité. Dans cette étude, l'impact d'une interaction ludique avec le système sur la créativité n'a pas été évalué, mais nous considérons que c'est une piste intéressante dans un contexte de croissance des environnements de réalité virtuelle.



Figure 52: l'outil "Cabinet" de recherche et manipulation d'images pour les designers [Keller, 2005]

Le Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie de Nancy a développé un logiciel de recherche d'images à destination des architectes [Kacher, 2006]. Le système est basé sur une base de données d'images référencées, chaque image étant décrite en termes propres à l'architecture (assemblage à emboîtement, poutre console, ossature bois...), la base est structurée par des ontologies. Les utilisateurs peuvent affiner leur requête en donnant leur avis sur chacune des images résultant de la requête (le résultat correspond à ce que je cherche : oui / non / indécis).



Figure 53: Interface de recherche d'images architecturales développée par le CRAI [Kacher, 2006]

Pour résumer, ces outils aident les concepteurs dans la phase d'exploration en leur donnant accès à des sources d'inspiration. Le principe sous-jacent est satisfaisant en terme d'aide à la conception, mais nous voyons quelques inconvénients dans les outils précités:

- pour constituer les bases d'images des logiciels présentés, il a été nécessaire de collecter et d'annoter les images une par une manuellement, puisque la recherche se fait justement sur les annotations qui sont associées à l'image. Cette opération de construction de la base d'images est très coûteuse en temps, et la base de d'images, pour les mêmes raisons, a forcément une taille réduite.
- la recherche d'image se fait principalement par utilisation de mots-clés, alors que nous avons vu que les designers adoptent plus facilement un langage visuel.
- les images disponibles ne représentent que des artefacts (*design precedents* chez Restrepo et Pisman) ou des détails d'artefacts architecturaux chez Kacher. Nous avons vu précédemment qu'un éloignement sémantique était bénéfique à la créativité
- les logiciels présentés permettent d'accéder à des sources d'inspiration mais il ne s'agit pas d'un accès « intelligent » qui guiderait l'utilisateur vers des sources adaptés à ses besoins.

Comme nous avons identifié des limites aux outils de recherche d'images existants, nous formulons les recommandations suivantes :

Il faudrait être capable de construire une base d'images plus étendue et en moins temps, par une voie autre que la collecte et l'indexation manuelle.

La recherche d'images par les designers devrait pouvoir se faire par divers types d'entrées, pas seulement par mots-clés, de manière à coller aux pratiques de langage visuel des designers.

Les images proposées aux concepteurs devraient être des images de tout type, pas uniquement des images d'artefacts ou des images relevant de leur domaine de spécialité.

Enfin, nous suggérons de catégoriser les images en fonction de l'impact quelles peuvent avoir sur la créativité des concepteurs, une catégorisation possible étant une catégorisation par secteurs.

2.4.3 Pistes pour de futurs outils d'aide à la recherche de ressources inspirationnelles

Les outils informatiques peuvent efficacement assister le processus de conception, s'ils respectent des conditions, c'est-à-dire s'ils sont développés en intégrant les caractéristiques de l'activité de design. Des logiciels existent déjà pour assister la réalisation d'esquisses, la conception détaillée et la fabrication de produits. Et donc, la recherche actuelle s'intéresse particulièrement à la phase d'exploration et vise à développer des outils d'aide à l'exploration.

L'exploration consiste à chercher des sources d'informations et à raisonner par analogie, l'assistance à la phase d'exploration passera donc par la numérisation de l'accès aux sources d'inspiration. Comme [Schneiderman, 2000] le suggère, les outils d'aide à la créativité doivent permettre de naviguer et **faire des recherches dans des bibliothèques de fichiers électroniques** et de visualiser les données et les processus de conception.

[Nakakoji et al., 2006] voient différents types d'utilisation des technologies informatiques pour la conception en phase amont: une première approche qui consiste à utiliser les technologies informatiques pour stocker, rechercher, modifier et partager des représentations d'artefacts et les connaissances associées ; une deuxième approche qui consiste à utiliser les technologies informatiques pour formuler et éditer des représentations design (ex : WYSIWYG, What You See Is What You Get) ; une troisième approche qui consiste à utiliser les technologies informatiques pour

produire des représentations et interagissent avec elles. L'exemple donné est un logiciel de création d'esquisses.

Un outil idéal d'aide à l'exploration devrait pouvoir combiner ces trois approches et permettre tout à la fois de stocker des informations et des connaissances sur la conception, rechercher des informations et des connaissances et produire des représentations externes (esquisses).

Des outils de productions d'esquisses existent déjà (Illustrator, CATIA V5) ; en revanche des outils couvrant la phase d'exploration et étant adaptés particulièrement aux besoins et pratiques des designers n'existent pas encore.

[Bonnardel, 2000], dans son travail sur l'évocation de nouvelles idées en conception de produits, s'arrête sur le contenu des images qu'il faudrait proposer aux concepteurs par l'intermédiaire des outils d'aide à la recherche de sources d'inspiration:

*It seems important to propose to users of knowledge-based systems **not only 'cases' or examples of already designed objects [...], but also more general categories of objects, which could lead, less specifically, the designers towards new directions, to which they would not think of spontaneously.***

Bonnardel suggère une idée intéressante qui est que l'accès à des produits existants est donc important mais pas suffisant. Pour les concepteurs, l'accès à un espace varié de catégories d'objets permet d'évoquer des nouvelles pistes de conception, potentiellement plus originales.

Dans un travail plus récent, [Bonnardel & Marmèche, 2005] proposent des recommandations pour le développement d'un outil d'aide à l'évocation, synthétisées dans la figure ci-dessous.

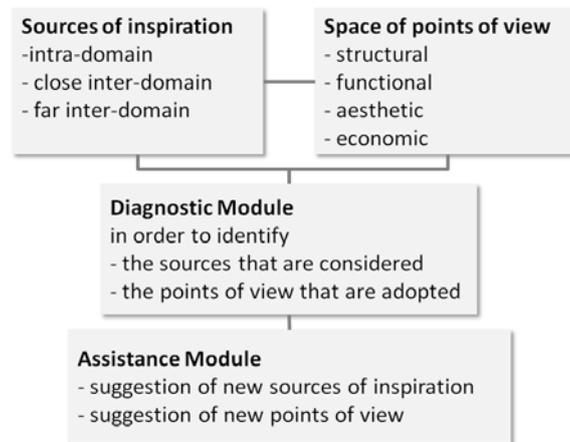


Figure 54: Modules d'un système d'aide à la créativité [Bonnardel & Marmèche, 2005]

Les spécifications proposées par Bonnardel & Marmèche visent à supporter le raisonnement par analogie en combinant à la fois une structuration des sources d'inspiration (*sources of inspiration* et *space of points of view*) et un guidage vers la réalisation des analogies (*diagnostic module* et *assistance module*).

Enfin, nous retenons également les recommandations formulées par [Keller, 2005]. Pour lui, un système d'aide à l'exploration doit aider les designers à construire des collections d'images de manière active, l'action de collecter aidant les designers à construire des images mentales. On devrait pouvoir fusionner des collections d'images physiques et numériques et les interactions avec le système devrait pouvoir se faire de manière visuelle, pour ne pas obliger les designers à verbaliser leur processus d'idéation qui est largement visuel. La recherche d'images doit permettre de découvrir des images qu'on n'avait pas forcément l'intention de trouver (*serendipitous encounters*). De tels outils doivent permettre aux designers d'interagir entre eux dans un esprit d'échanges et de travail collaboratif. Enfin, l'inspiration peut être stimulée si on « casse le rythme » de travail par une implication physique des designers dans leur interaction avec le système (d'où, dans le travail de Keller, le recours aux interfaces tactiles).

En sus de ces recommandations sur le fonctionnement général d'un système d'aide à l'exploration et à la créativité, la communauté d'intelligence artificielle développent de nombreuses pistes de recherche sur les aides à la recherche d'images inspirationnelles. Les outils du futur devront mieux comprendre les intentions du designer en terme de recherche d'images. En effet, les designers manipulent des images et des **concepts à forte valeur émotionnelle et sémantique** et aujourd'hui,

des outils comme Google ne permettent pas de faire des recherches sur des concepts. Le courant de recherches d'*affective computing* vise à fournir des résultats qui sont adaptés au mieux au niveau émotionnel et sémantique recherché.

Grace à des **systèmes de recherche basée Kansei** (*Kansei-based image retrieval*), on peut trouver des images par le concept sémantique ou émotionnel qu'elles représentent plutôt que par leur nom (comme le fait Google). Les systèmes basés kansei passent par une analyse du contenu de l'image et de ses descripteurs de bas niveau (couleur, texture, forme) ; les descripteurs bas niveau sont ensuite associés à des descripteurs haut-niveau, ou concepts (exemple simplificateur : la couleur rouge associée au concept « agressif »). La recherche d'images s'appuie sur des bibliothèques de liens entre descripteurs bas niveau et descripteurs haut niveau. Pour un état-de-l'art et un benchmarking sur le *Content-based Image Retrieval* (CBIR) et le *Kansei-based Image Retrieval* (KBIR), on peut consulter les rapports issus du projet TRENDS [TRENDS MD1].

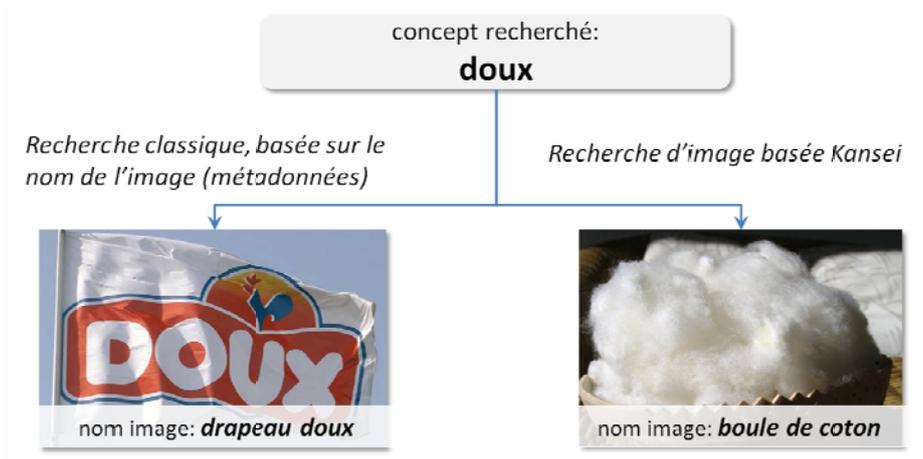


Figure 55: Illustration de recherche d'images classique vs. recherche basée Kansei

Les moteurs de recherche d'images basé kansei sont particulièrement intéressants parce qu'ils suivent un processus qui est très proche du raisonnement des designers ; en effet, une des caractéristiques des designers est qu'ils savent particulièrement bien transformer des concepts (par exemple suggérés par un cahier des charges de conception : *cette voiture doit avoir l'air sportive*) en caractéristiques technico-formelles (lignes du véhicule). Nous retenons qu'un outil idéal d'aide à l'exploration doit permettre la recherche d'images par manipulation de concepts, comme le permet la recherche basée Kansei.

2.4.4 **Bilan sur la numérisation de la phase d'exploration**

D'après notre expérience chez Dassault Systèmes, nos observations sur les logiciels existants et notre état-de-l'art sur les pistes de développement recommandées, nous proposons les spécifications suivantes pour un outil idéal d'aide à l'exploration:

- Comme tout outil d'aide à la conception, un logiciel d'aide à l'exploration devrait faire gagner du temps aux designers et/ou améliorer la qualité de leur travail (aide à la créativité).
- Un outil d'aide à l'exploration devrait permettre d'élargir le corpus de sources d'information dont les designers disposent (plus grande quantité d'images).
- La recherche d'images doit pouvoir se faire avec le langage des designers : langage visuel, concepts émotionnels ou sémantiques (recherche basée kansei).
- Les images proposées aux designers ne devraient pas être seulement des images d'artefacts ou des images relevant de leur domaine de spécialité.
- Les images devraient être catégorisées en fonction de l'impact qu'elles peuvent avoir sur la créativité des concepteurs, une catégorisation possible étant la catégorisation par secteurs d'influence.
- Un outil d'aide à l'exploration devrait faciliter la transition vers la phase de génération, en permettant une extraction et un transfert de certaines représentations externes dans les premières esquisses.

2.5 Synthèse de l'état-de-l'art

Notre état-de-l'art a particulièrement développé deux points : **l'activité cognitive des designers dans la phase d'exploration** et **la numérisation de la phase d'exploration**. Le schéma ci-dessous donne une vue systémique de l'état-de-l'art en indiquant à la fois le cheminement suivi dans ce document et les connections qui existent entre les thèmes développés.

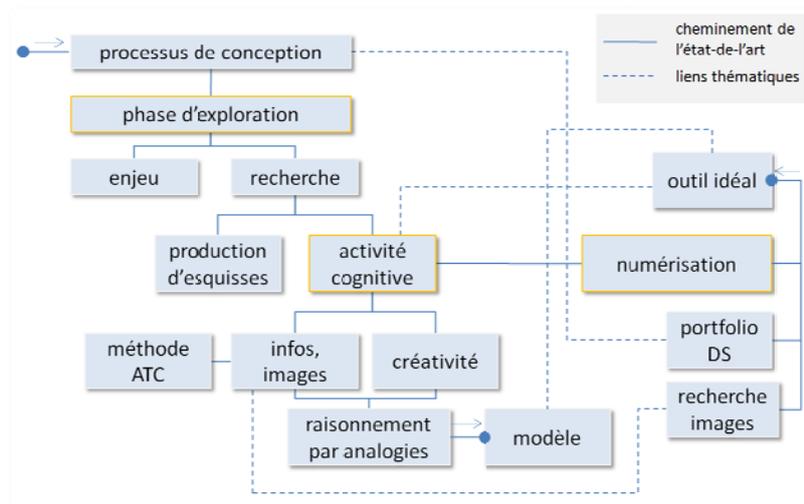


Figure 56 : Représentation du cheminement de notre état-de-l'art et des connections thématiques

En complément de ce schéma, nous reprenons ici les idées importantes issues de l'état-de-l'art.

La phase amont du processus de conception de produits, autrement appelée *conceptual design* [Pahl & Beitz, 1984] ou *exploration* [Cross, 2000], est **cruciale** pour la réussite d'un projet de conception : c'est dans cette phase que les décisions prises ont la plus grande influence sur la suite du projet [Zeiler et al., 2007]. En conséquence, **la recherche se focalise aujourd'hui sur la phase amont**, qui couvre la période de la réception d'un cahier des charges jusqu'aux premières formalisations de solutions-design par des esquisses. Les études sur la phase d'exploration ont d'abord porté sur sa composante explicite et observable : la production d'esquisses, tandis que des travaux émergents ont tendance à porter sur la composante implicite de l'exploration : l'activité cognitive des designers.

Selon [Schön, 1983], l'activité de **production d'esquisses** (*sketching*) consiste en un dialogue du designer avec lui-même, dans une approche réflexive caractéristique du métier de designer. Les esquisses permettent d'externaliser des idées et de progresser dans le raisonnement créatif par observation des idées formalisées ; elles permettent une évolution itérative appelée *seeing-drawing-seeing* [Schön, 1983] ou *génération-interprétation* [Van der Lugt, 2001].

La composante invisible de la conception de produits est l'**activité cognitive des designers**. Pour [Simon, 1973], la conception de produits consiste en la résolution d'un problème mal défini (*ill-structured problem*), dont toutes les contraintes ne sont pas connues et qui n'a pas une solution unique. Les designers doivent donc passer par une phase d'interprétation et de reformulation du problème [UK Design Council, 2007] et pour cela, ils ont **besoin d'informations**, de références, de sources d'inspiration. Il existe de nombreux cas visibles et médiatisés de **références à des sources d'inspiration**, en particulier en architecture ou dans le design automobile ; les designers anonymes utilisent également largement des sources d'inspiration et une première tentative de formalisation d'utilisation de cette utilisation a été réalisée par [Eckert & Stacey, 2000] dans le contexte de l'industrie textile. Dans ce modèle, le rôle crucial des informations visuelles et des images est mis en évidence. Pour Eckert et Stacey, le recours intensif aux **images** est une caractéristique typique du métier de designer (*sources of inspiration : a language of design*). De manière générale, l'être humain est plus créatif s'il est stimulé par des images plutôt que par des mots [Malaga, 2000]. Dans le contexte particulier de la conception, les images permettent aux designers de produire plus d'idées [Christiaans, 1992] et de produire des idées plus créatives [Goldschmidt & Smolkov, 2006] que s'ils n'ont pas de stimuli visuels. Dans l'activité de conception en phase amont de la conception, on remarque donc que la production d'esquisses et l'utilisation d'informations visuelles jouent un rôle crucial mais sait-on de quelle manière elles impactent la conception ? A notre connaissance, il n'existe qu'une **méthode** qui met en relation informations visuelles et représentations intermédiaires de la conception : il s'agit de la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe (ATC) développée de manière empirique au contact des pratiques industrielles par [Bouchard, 1997]. Cette méthode vise à aider les designers à identifier des sources d'inspiration, à en extraire des éléments de design et à construire des représentations externes (ex. : planches de tendances) avec les éléments extraits. Cette méthode fait donc le lien entre les images inspirationnelles et des représentations externes, ce que les designers jugent très utile mais l'impact de cette méthode sur la conception n'a pas été évalué, en particulier l'impact sur la créativité, objectif majeur des designers.

Voyons donc ce que l'on sait sur la créativité, les moyens de l'évaluer et les moyens de l'augmenter.

Il existe plus de 50 modèles de créativité, proposés par la communauté de psychologie cognitive. La créativité peut être vue comme une caractéristique d'un individu [Amabile, 1997] ou associée à un système individu - informations - société [Csikszentmihalyi, 1999]. L'individu utilise des informations qu'il transforme pour créer quelque chose qui est jugé nouveau par la société (ou par tout évaluateur). Les informations sont manipulées par l'individu principalement par raisonnement analogique sur lequel nous retenons deux points : le raisonnement par analogie consiste en la

succession d'opérations cognitives (perception de sources > évocation d'une source > adaptation à une cible) qui aboutissent à l'émergence d'un nouveau concept [Anolli et al., 2001]; il existe dans la littérature une notion très forte de distance entre la source et la cible, comme dans les travaux de [Bonnardel & Marmèche, 2005] qui distinguent les sources intra-domaine, inter-domaine proche et inter-domaine éloigné, suivant la proportion de propriétés en commun entre la source et la cible. L'évaluation de la créativité doit être faite par des personnes externes au processus créatif, *la société*, [Csikszentmihalyi, 1999] et peut être faite de manière subjective, ce qui est fiable comme l'a prouvé l'étude de [Sarkar & Chakrabarti, 2007]. Il existe un consensus sur les critères qui définissent la créativité d'une idée ou d'un produit : **originalité** et **faisabilité** [Howard et al., 2008]. La méthode de linkographie [Goldschmidt, 1990] repose sur l'identification et la quantification des liens entre toutes les idées générées pendant un processus de raisonnement créatif; nous jugeons cette méthode couteuse et plutôt dédiée à l'évaluation du processus créatif qu'aux résultats.

Le processus créatif est associé au raisonnement par analogie. Une étude qualitative [Leclercq & Heylighen, 2002] a montré que ce type de raisonnement est très courant en conception (5.8 analogies/heure) et que les designers utilisent des sources qui sont dans les mêmes proportions leurs connaissances tacites et des sources extérieures visualisées juste avant la tâche de conception. On a vu que les sources extérieures (images) améliorent à la fois la quantité et la qualité des idées. Mais on ne sait pas dans quelle mesure ces effets varient en fonction de la nature de la source. **Dans le contexte de conception de produits, la nature des sources a-t-elle une influence sur la créativité des solutions ?**

Sans aller jusqu'à l'évaluation de la créativité de solutions design, [Bonnardel & Marmèche, 2005] répondent à la question suivante : la nature des sources a-t-elle une influence sur la phase d'évocation d'idées ? Dans cette étude, les sources sont distinguées selon leur « domaine » d'appartenance, lui-même défini par sa distance à la cible (le produit à concevoir). La nature des sources n'a pas d'influence particulière sur la quantité d'aspects extraits de la source et jugés utiles pour le problème de conception par les designers. En revanche, la nature des aspects jugés utiles varient. Les sources intra-domaine sont propices à l'évocation d'aspects fonctionnels, inter-domaine proche aux aspects structurels et inter-domaine éloigné aux aspects affectifs. Il est intéressant de noter que presque aucun aspect esthétique n'est évoqué. Selon la distance de la source à la cible, les designers retiennent de la source des aspects différents (fonctionnels, structurels, affectifs). Par extrapolation, nous formulons la question suivante : **En fonction de la distance entre la source d'inspiration et la cible de conception, les designers génèrent-ils des solutions de différents niveaux de créativité ?**

En parallèle des développements de modèles du processus de conception, on constate logiquement le développement d'**outils numériques d'aide à la conception**. Le leader mondial de l'édition de logiciels d'aide à la conception fournit des outils pour toutes les phases de la conception, excepté la phase d'exploration ; en effet, les outils de *conceptual design* de Dassault Systèmes ne sont utiles qu'à partir du moment où une représentation cognitive de la solution existe, ces outils ne permettent pas aux designers d'explorer l'espace-problème et n'assistent pas le raisonnement par analogie. Depuis quelques mois, ces sujets font partie des thèmes stratégiques de DS. En avance de phase sur l'industrie, des laboratoires de recherche s'attèlent depuis quelques années à proposer des outils d'exploration des ressources inspirationnelles qui consistent souvent en des moteurs de recherche d'images ; les bases de données associées sont des bases de photos de produits ou de réalisations architecturales. Mais ces outils ne permettent que la recherche d'images et n'aident pas les designers dans leur analyse des images et leur raisonnement créatif. Enfin, nous listons des pistes de développement d'un outil idéal pour l'aide à l'exploration dont les points majeurs sont les suivants: l'outil devrait combiner une aide à la recherche de sources inspirationnelles et une aide à la production d'esquisses, pour faciliter l'itération *seeing-drawing-seeing* décrite par [Schön, 1983]. Pour la recherche de sources inspirationnelles, l'outil devrait respecter les pratiques des designers en permettant la recherche par similarité de contenu d'images (langage visuel) et la recherche-basée-kansei (accès à des images représentant des émotions ou des valeurs).

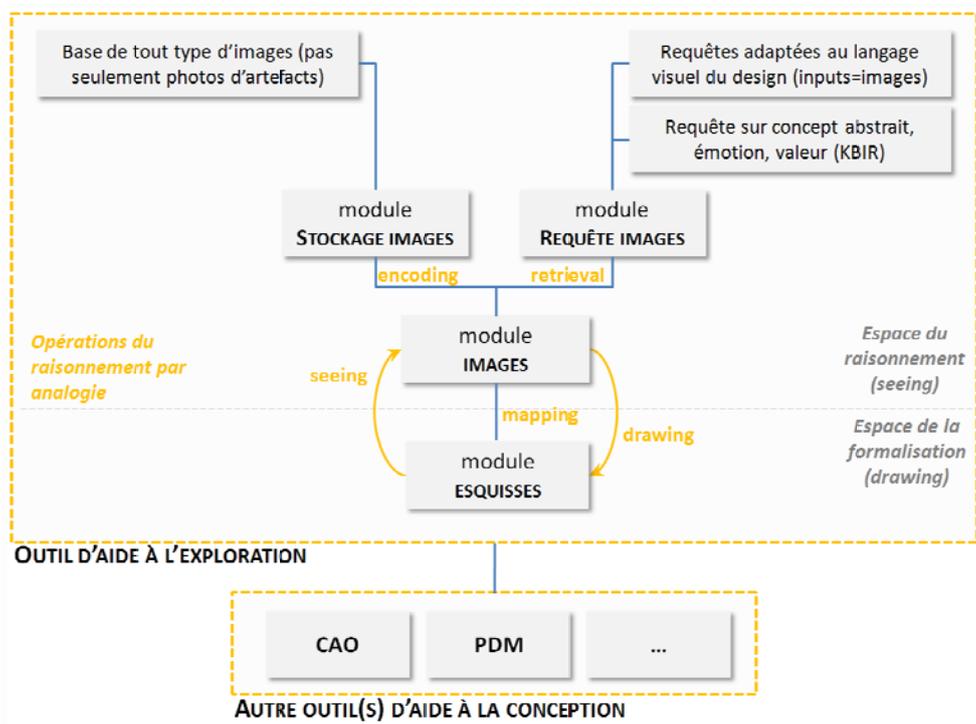


Figure 57 : Description des modules d'un outil logiciel idéal d'aide à l'exploration

3 .

Problématique et hypothèses de modélisation

Introduction

L'état-de-l'art a montré la nécessité de modéliser la phase d'exploration. En effet, dans la perspective industrielle de développer des outils numériques d'aide aux concepteurs, il est nécessaire d'identifier les informations manipulées par les concepteurs lors de la phase d'exploration et de trouver quelles sont les variables caractéristiques qui permettent d'augmenter la créativité résultant de cette phase.

Nous formulons l'hypothèse que la phase d'exploration peut être représentée comme un système d'informations collectées et manipulées cognitivement par les designers. D'autre part, nous proposons de tester l'idée que ce système d'informations peut être influencé de manière à augmenter la créativité des solutions proposées dans la phase de génération : nous pensons que les informations visuelles utilisées dans la phase d'exploration peuvent être structurées en secteurs d'influence et que l'éloignement des secteurs avec la cible de conception, en stimulant le raisonnement par analogie, augmente la créativité des solutions proposées par les concepteurs.

3.1 Problématique : favoriser la créativité en conception

Notre constat est qu'il n'existe pas de modèle explicitant la phase d'exploration et en particulier son impact sur la phase de génération. En conséquence, il n'existe pas d'outils logiciels d'aide à l'exploration adapté à l'activité des designers.

Un tel modèle est nécessaire pour produire des outils computationnels de support à l'activité de conception en phase amont et de support à la créativité en conception.



Dans une tendance globale de numérisation du processus de conception, le périmètre de notre recherche intègre la dimension informatique de la conception en visant à développer un outil logiciel d'aide à l'exploration.

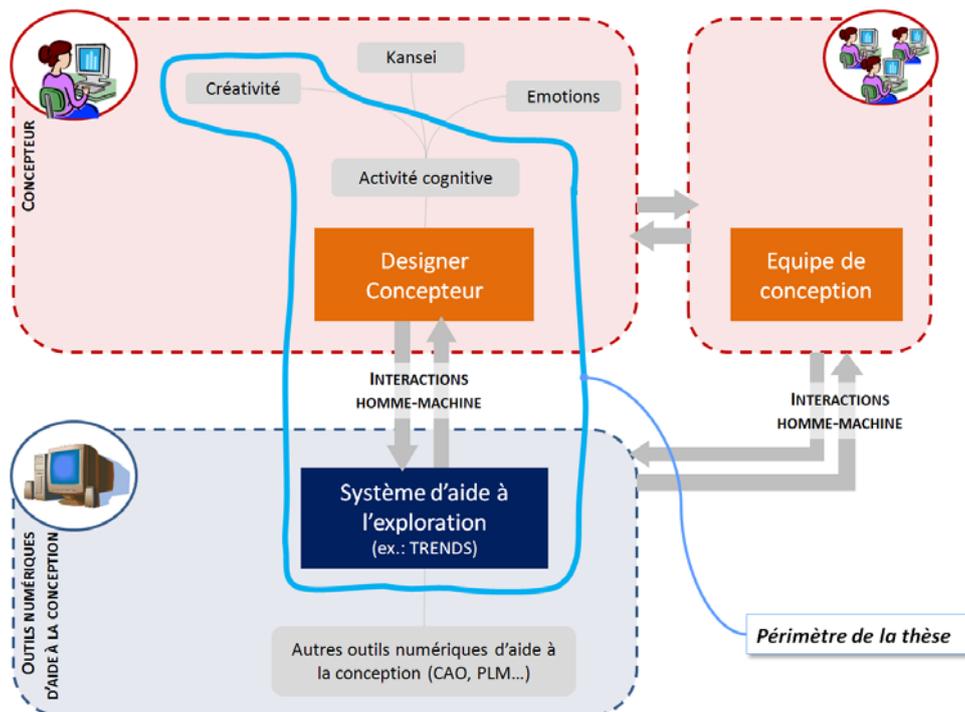


Figure 58: Périmètre de la thèse

3.2 Hypothèses de modélisation

3.2.1 *Hypothèse 1 : La phase d'exploration est une phase de traitement d'informations numérisable*

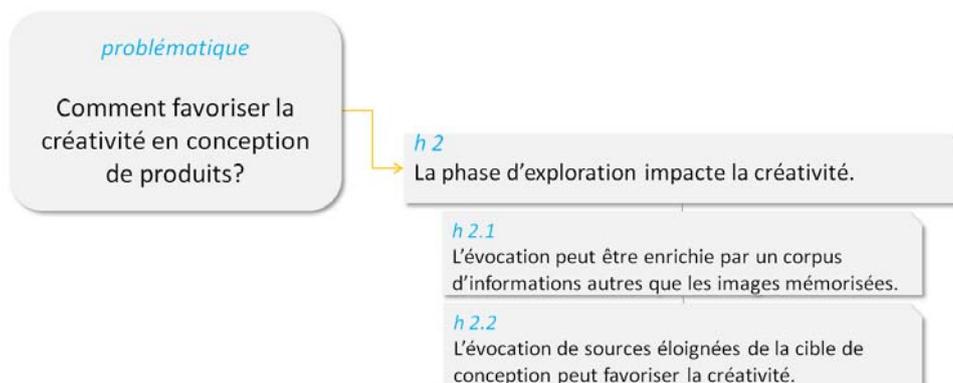
Nous pensons que la phase d'exploration peut être modélisée sous la forme d'un système d'informations dans lequel le designer (ou les designers) collectent, manipulent, transforment des informations pour progresser dans le processus de conception, de la réception du cahier des charges de conception aux premières formalisations de solutions design.

Nous chercherons à identifier les informations qui parviennent au designer « en entrée », les paramètres de transformation vers des informations « en sortie » de processus. En particulier, nous pensons qu'il est possible d'identifier un lien entre les informations recueillies par les designers et les éléments de design présents dans les solutions proposées.



3.2.2 *Hypothèse 2 : La phase d'exploration impacte la créativité*

Nous pensons que la phase de génération de solutions est dépendante de la phase d'information. En particulier, le niveau de créativité des solutions proposées par les designers dépend du type d'informations inspirationnelles utilisées. Nous pensons que les informations peuvent être structurées en secteurs et que plus l'éloignement entre le secteur « cible » et le secteur « source » est important, plus la solution proposée sera créative.



3.2.2.1 Sous-hypothèse 1 : Un outil d'aide à l'évocation peut augmenter la créativité

Les designers sont des individus à part d'un point de vue cognitif, que ce soit grâce à leurs dispositions naturelles soit grâce à l'enseignement qu'ils ont reçu et à leur pratique professionnelle. En effet, nous pensons que les concepteurs ont une faculté de créativité et de raisonnement par analogie supérieure à la moyenne. Dans leur étude du raisonnement par analogie effectuée avec des non-designers, [Anolli et al., 2001] montrent que la plupart des individus ont des difficultés, lors d'un raisonnement par analogie, à identifier les liens qui existent entre une source et une cible. Au contraire d'individus lambda, nous pensons que les designers ont une faculté spéciale à raisonner par analogie et à identifier les liens potentiels entre des sources d'informations et une cible de conception. Le raisonnement par analogie se décompose en 2 grandes phases qui sont l'évocation de sources (*retrieval*) et l'adaptation de sources à la cible (*mapping*). Comme l'illustre le tableau ci-dessous, une des caractéristiques du métier de designer est de bien réussir l'adaptation de sources à une cible ; l'évocation de sources se fait moins facilement que l'adaptation de la source à la cible, ce donc sur ce point que des outils peut intervenir pour aider les designers dans leur raisonnement par analogie et donc à amplifier leur créativité.

	Phases du raisonnement par analogie		
	(1) Evocation de sources (retrieval)	(2) Adaptation de sources à la cible (mapping)	(1) + (2) → Créativité
Performances de non – designers [Anolli et al., 2001]			
Performances de designers			
Champ d'action d'un outil d'aide à la créativité pour les designers		Pas nécessaire	

Tableau 7: Illustration de la sous-hypothèse H2.1 sur le spectre d'action d'un outil d'aide à la créativité

→ Notre hypothèse est donc qu'une aide à la créativité pour les designers peut être réalisée en fournissant aux designers uniquement des **outils d'aide à l'évocation de sources** (*retrieval*) ; la phase suivante, d'adaptation de sources à la cible (*mapping*), est quant à elle facilement réalisable par les designers eux-mêmes (au contraire d'une population non-designer) grâce à leurs dispositions et à leur expérience du métier. Dans ce cas, les tâches que l'on peut qualifier de routinières, comme la collecte de sources inspirationnelles, seraient réalisées par un outil numérique, tandis que les

designers pourraient se consacrer à la réalisation de tâches à forte valeur ajoutée, requérant une forte implication cognitive, comme la recherche et le développement d'analogies.

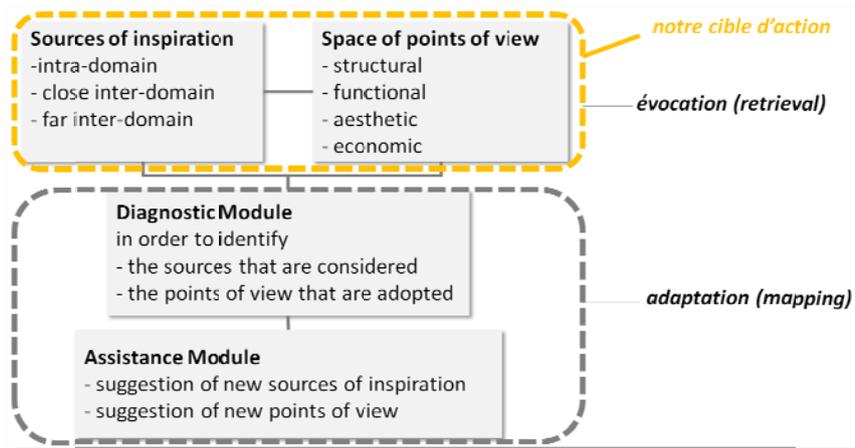


Figure 59: notre positionnement en terme d'outil d'aide à la créativité, adapté de [Bonnardel & Marmèche, 2005]

3.2.2.2 Sous-hypothèse 2 : L'évocation de sources éloignées de la cible peut augmenter la créativité

L'état-de-l'art a fait émerger une notion forte de distance entre la source et la cible mises en œuvre dans un raisonnement par analogie [Casakin & Goldschmidt, 1999] [Leclercq & Heylinghen, 2002] [Bonnardel & Marmèche, 2005] mais les études existantes s'arrêtent à ce constat, sans évaluer l'impact de la distance source-cible sur le travail des concepteurs. Une seule étude investigate cette piste : [Bonnardel & Marmèche, 2005] ont montré qu'en fonction de la distance source-cible, les aspects évoqués par les designers n'étaient pas les mêmes. Il semble donc qu'en s'éloignant de la cible, les sources d'inspiration apportent des éléments plus abstraits, des informations plus globales sur le produit, comme nous l'avons schématisé sur la figure ci-dessous.

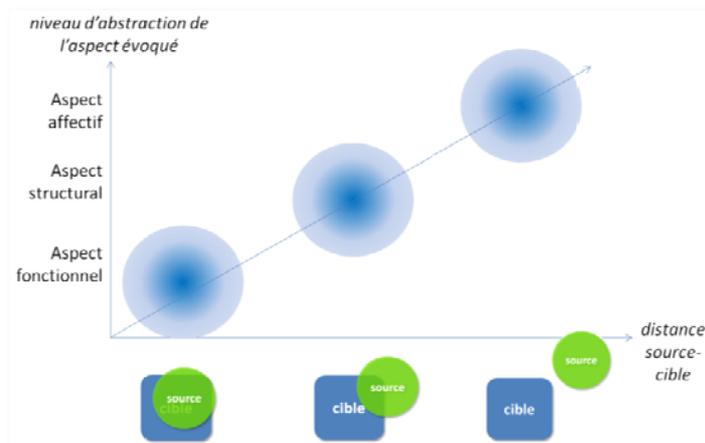


Figure 60: Schématisation de la relation entre le niveau d'abstraction de l'analogie et la distance source-cible

L'évaluation de l'impact de la distance source-cible par [Bonnardel & Marmèche, 2005] s'arrête à l'évocation suscitée par les sources inspirationnelles. Nous souhaitons étendre cette évaluation jusqu'à la formalisation de solutions-design. Par extrapolation, nous formulons l'hypothèse qu'une grande distance source-cible impactera positivement la créativité.



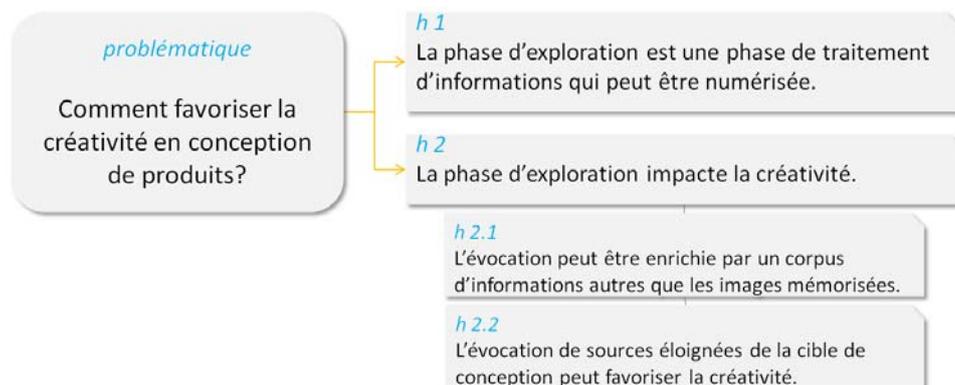
Figure 61: Illustration de la sous-hypothèse H2.2 sur la distance source-cible et son impact sur la créativité

Résumé de la problématique et des hypothèses

Notre recherche vise à augmenter la créativité en conception en agissant sur le processus de conception, et en particulier sur les phases amont du processus, lorsque le travail créatif est le plus intense et le plus influent sur la suite du projet.

Dans les phases amont, il est supposé que la phase d'exploration consiste en une phase de **traitement de l'information** par les designers et qu'il existe des flux d'informations et des opérations qui peuvent être **numérisés**, pour une assistance au travail des designers.

D'autre part, nous pensons que les informations manipulées dans la phase d'exploration impactent la génération de solutions-design, en particulier le niveau de créativité de ces dernières. Pour agir sur la **créativité** des solutions-design, nous proposons de fournir un outil numérique qui aiderait les designers dans l'étape d'évocation du raisonnement par analogie et, plus précisément, un outil qui aiderait les designers dans l'évocation de sources éloignées de la cible.



4 .

Expérimentations

Introduction

Notre recherche a été effectuée dans le cadre du projet « TRENDS » (Trends Research Enabler for Design Specifications), projet de recherche de trois années (janvier 2006 – décembre 2008) réalisé par un consortium européen de partenaires académiques et industriels et financé par l'Union Européenne. Le but du projet TRENDS est de développer un outil logiciel de recherche d'images pour assister les phases amont du processus de conception industrielle.

Dans le cadre de ce projet, nous avons observé les pratiques des designers dans la phase d'exploration, recueilli leur besoins pour formuler les spécifications de TRENDS et testé à cinq prototypes différents du logiciel avec les designers. Nous ne présentons ici que la partie de notre activité liée à la modélisation de la phase d'exploration.

Pour ce faire, nous avons mis en place trois expérimentations avec les designers professionnels de FIAT et de Stile Bertone dont l'objectif général était d'identifier les flux et les traitements d'informations qui ont lieu dans la phase d'exploration et d'en évaluer l'impact sur les solutions proposées par les designers. Un critère crucial de satisfaction d'une solution est son niveau de créativité. Les expérimentations ont donc visé à évaluer le niveau de créativité de solutions-design en fonction du type d'informations visuelles manipulées par les designers.

4.1 Cadre des expérimentations: le projet 'TRENDS'

4.1.1 Objectifs du projet TRENDS

L'objectif du projet TRENDS est de développer un logiciel de support à la créativité pour les acteurs du processus de conception de produits, en particulier lors des phases amont de recherche de nouveaux concepts et en avant-projet. Le logiciel TRENDS sera capable de fournir des informations sur les tendances actuelles en délivrant aussi bien des statistiques que des aides à la réalisation de planches de tendances.

Le développement de l'outil TRENDS consiste à numériser la méthodologie d'Analyse de Tendances Conjointe [Bouchard, 1997, 2003].

	Processus d'exploration en conception de produits	
	Traditionnel	Numérisé
Ressources utilisées	Magazines, images "papier" (~ 5 magazines / semaine)	Base de données TRENDS (~ 2 millions d'images)
Méthodologie d'exploration	A.T.C. « manuelle »	A.T.C. semi-automatique
Réalisation des tâches routinières	Designer	TRENDS
Réalisation des tâches à forte valeur ajoutée	Designer	Designer

Tableau 8: Le logiciel TRENDS permet la numérisation de la méthodologie d'Analyse de Tendances Conjointe

Pour ce faire, l'équipe a suivi une méthodologie de développement centrée sur les utilisateurs, ces derniers étant impliqués régulièrement dans des tests du logiciel. Les besoins des utilisateurs étant identifiés, le développement du logiciel intègre des technologies logicielles innovantes. En effet, l'outil TRENDS est basé sur la combinaison de ces trois technologies :

- une **collecte automatique d'images** sur le Web et d'autres bases de données numériques en utilisant une approche sémantique,
- une **analyse automatique des images** de façon à réduire les tâches manuelles d'élaboration de planches de tendances,
- un **moteur de recherche multimédia sémantique** afin de lier les informations graphiques et lexicales, basée sur des ontologies

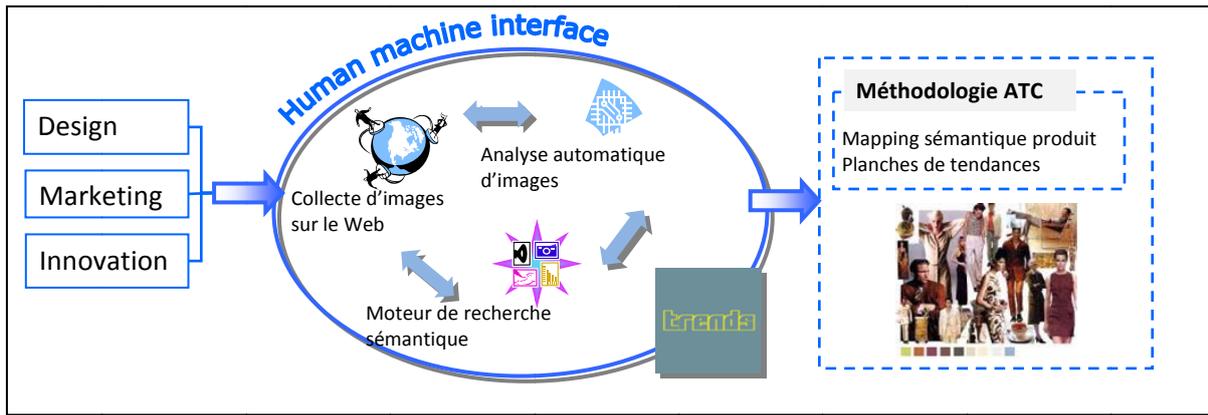


Figure 62 : Schéma de l'architecture du logiciel TRENDS

Au bout des trois ans de développement (fin du projet en décembre 2008), cet outil permettra de réduire les délais et les coûts de conception tout en améliorant le processus de créativité grâce à une analyse des tendances exhaustive et rapidement réalisée. Le principe de l'outil sera de chercher des images et de réaliser des opérations de traitement visant à réaliser des supports spécifiques aux métiers du design (planches de tendances, mapping), comme on le voit sur la figure ci-dessous.

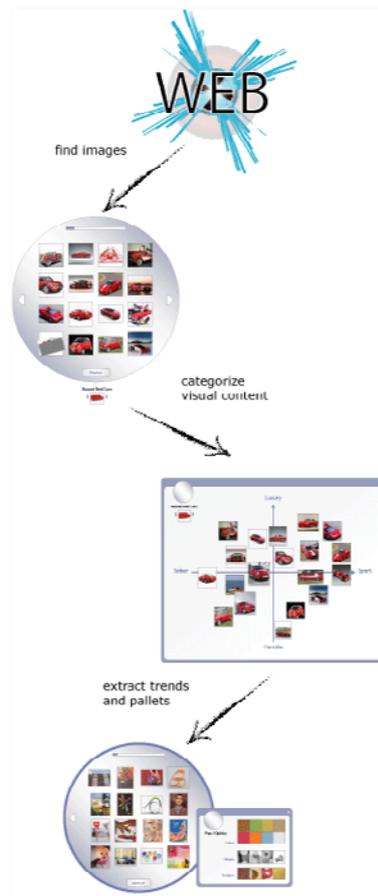


Figure 63: Scénario simplifié d'utilisation du logiciel TRENDS [www.trendsproject.org]

4.1.2 **Moyens mis en œuvre**

Pour mener à bien ce projet de recherche, les partenaires du projet ont bénéficié du soutien financier de l'Union Européenne, par le 6^{ème} Programme-Cadre (FP6). TRENDS est affilié à la thématique IST (Information Society Technologies) dans le contrat IST-27916. Il s'agit d'un projet STREP (Specific Targeted Research Project) défini par l'Union Européenne sur le site suivant, http://cordis.europa.eu/fp6/instr_strp.htm :

Specific Targeted Research Projects aim at improving European competitiveness or meeting the needs of society or Community policies.

They can take the following forms:

- *An RTD project designed to gain knowledge or improve existing products, processes or services.*
- *A demonstration project designed to prove the viability of new technologies but which cannot be commercialized directly.*

Le budget total du projet s'élève à 2,45 M€, dont 600 k€ alloués au LCPI et 8 partenaires de 5 pays européens ont pris part au projet (§ 4.1.3).

4.1.3 **Rôles des partenaires**

Afin que ce projet de recherche soit en parfaite adéquation avec la réalité industrielle, les partenaires prenant part au projet sont à la fois issus du monde académique et du monde industriel.

Le projet TRENDS regroupe des partenaires informatiques tels que l'INRIA, Pertimm et l'université de Cardiff, des utilisateurs finaux (designers) : Centre de recherche de FIAT (C.R.F.) et Stile Bertone, une université responsable de l'évaluation du logiciel : l'université de Leeds, et un coordinateur de projet : le laboratoire de Conception de Produits et Innovation. Le projet est financé et expertisé régulièrement par la Commission Européenne tout au long des trois années.

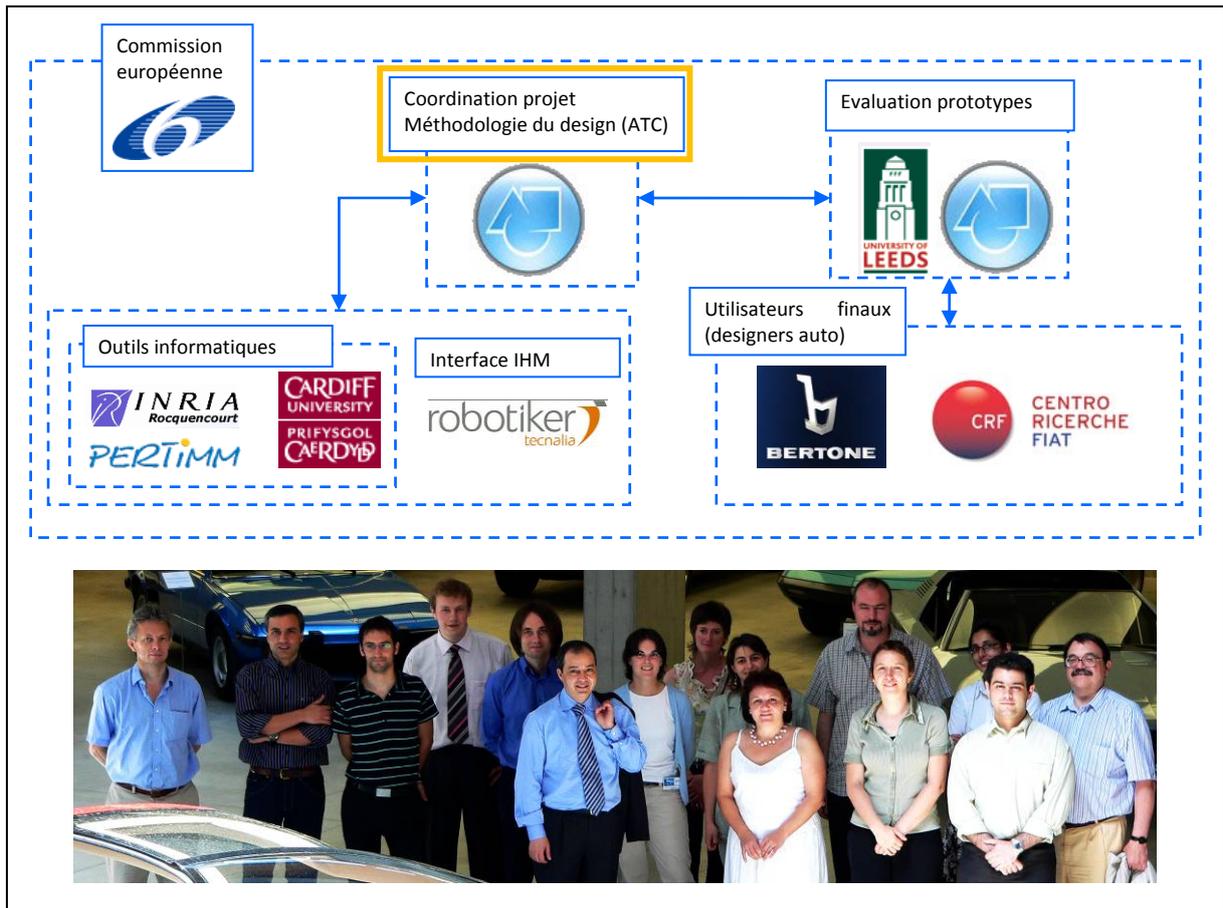


Figure 64 : Partenaires du projet TRENDSt

Il s'agit des acteurs suivants :

- **LCPI**, Laboratoire de Conception de Produits et Innovation, d'Arts et Métiers ParisTech, France : Laboratoire de recherche. Coordinateur du projet. Le LCPI est spécialiste des méthodologies de design industriel et initiateur de la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe qui est partiellement automatisée dans le logiciel TRENDSt. Au sein de cette équipe, l'auteur est en particulier en charge de la réalisation de l'intégration des besoins et des méthodologies des designers industriels dans le développement du logiciel TRENDSt et des tests utilisateurs.
- **CRF**, Centro Ricerche FIAT, Turin, Italie : Centre de recherche de l'entreprise FIAT, concepteur et producteur de véhicules automobiles. Utilisateurs finaux de TRENDSt en tant que designers industriels et acteurs de l'innovation.
- **Stile Bertone**, Turin, Italie : Entreprise industrielle spécialisée dans le style et le design automobile. Utilisateurs finaux de TRENDSt en tant que designers industriels et acteurs de l'innovation.

- **INRIA**, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, Equipe i-Media, Rocquencourt, France : Laboratoire de recherche en technologies informatiques. En charge du développement du moteur de recherche d'images intégré à TRENDS, basé sur des technologies innovantes d'analyse du contenu d'images et de calculs de similarité visuelle.
- **University of Leeds**, Institute of Psychological Sciences, Psychology of Design Group, Leeds, Royaume-Uni: Laboratoire de recherche de psychologie et facteurs humains. En charge des tests utilisateurs.
- **Cardiff University**, Cardiff, Royaume-Uni : Laboratoire de recherche en technologies informatiques. En charge du développement d'agents intelligents et d'ontologies pour la recherche sémantique.
- **Pertimm**, Asnières, France : Entreprise en charge du développement du moteur de recherche sémantique intégré à TRENDS.
- **Robotiker**, Bilbao, Espagne : Entreprise en charge du développement de l'interface utilisateur de TRENDS.

4.1.4 Cadre des expérimentations : l'étape de définition du besoin des designers

Le projet TRENDS s'organise en trois grandes phases thématiques qui sont :

- Phase 1 : Définition du besoin des utilisateurs finaux (designers auto)
- Phase 2 : Développement des fonctionnalités et de l'interface de TRENDS
- Phase 3 : Tests des prototypes avec les utilisateurs finaux

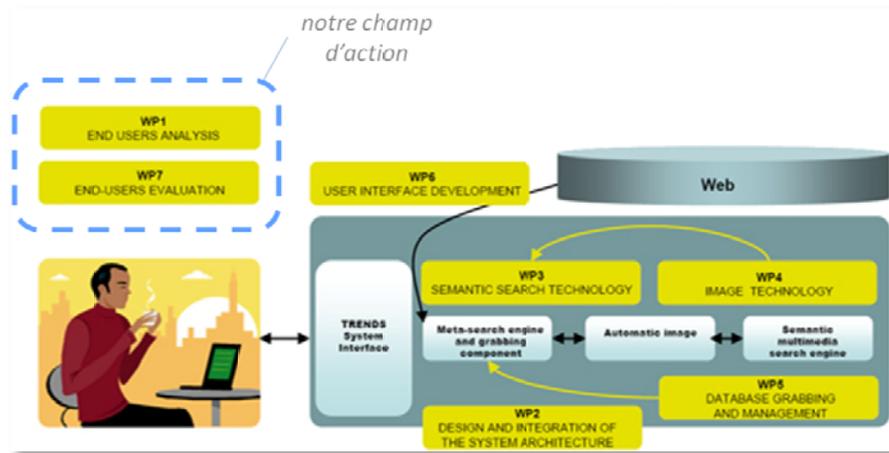


Figure 65 : Organisation des jalons du projet TRENDS

On voit à travers l'organisation du projet que le développement du logiciel TRENDS est centré sur les utilisateurs finaux (designers de FIAT et de Stile Bertone) ; les fonctionnalités techniques du logiciel

sont développées en adéquation avec les besoins relevés auprès des designers et de nombreux prototypes intermédiaires du logiciel sont testés avec les designers.

Le processus de développement **centré utilisateurs**, adopté dans le projet TRENDS, est une des garanties de la qualité du logiciel final.

L'auteur est particulièrement impliqué dans les phases qui impliquent les utilisateurs finaux de TRENDS, c'est-à-dire dans la phase de définition du besoin des designers (phase 1), réalisée à 100% par le LCPI, et dans la phase de tests des prototypes de TRENDS avec les designers (phase 3) réalisée à 50% par le LCPI en partenariat avec l'Université de Leeds. Notre recherche est donc réalisée dans un contexte d'immersion au sein des départements design des deux entreprises, ce qui lui confère un lien fort avec la réalité du terrain industriel.

Pour mieux comprendre notre projet d'application, TRENDS, nous détaillons ici les étapes qui ont eu lieu en parallèle de nos expérimentations de thèse et qui ont consisté en l'élicitation du besoin des utilisateurs finaux de TRENDS (designers auto).

Les besoins des designers en terme d'outil d'aide à la recherche d'images ont été formalisés par une analyse fonctionnelle. Le processus d'analyse fonctionnelle qui a été mis en place pour le système TRENDS est schématisé sur la figure ci-dessous. Les besoins de designers ont été extraits et formalisés dans trois rapports, benchmarking, état de l'art et entretiens, qui ont servi de matériaux à deux réunions d'analyse fonctionnelle : une première réunion d'analyse fonctionnelle réalisée en interne au laboratoire de Conception de Produits et Innovation nous a permis de grouper ces besoins et de définir les fonctions du système TRENDS, une seconde réunion avec les partenaires informatiques nous a permis de fixer les critères des fonctions précédemment trouvées et de confronter les besoins utilisateurs aux possibilités technologiques.

Enfin une liste des besoins a été établie et soumise aux utilisateurs finaux afin que ceux-ci les hiérarchisent. Près de 120 questions ont été divisées en 5 parties thématiques : Interaction (entre utilisateur et système de recherche), Recherche, Ressources, Stockage et Utilisation des informations. Cette classification découle du modèle informationnel construit grâce aux entretiens. A l'issue de cette étape, il ressort que les besoins majeurs des designers en terme d'outil de recherche d'informations sont les suivants :

(1) **Compréhension de l'objectif design** : Mieux comprendre le cahier des charges design ('design brief') donné par le client et les besoins de l'utilisateur final du produit à concevoir. Les designers ont besoin d'un outil qui leur permet de trouver des informations sur les utilisateurs et sur les produits.

(2) **Précision vs. Serendipité**: les designers souhaitent trouver une information qui est suffisamment proche du sujet recherché, mais pas exactement identique. Les informations trouvées devraient soit répondre précisément à une question particulière, soit au contraire stimuler la créativité en proposant des réponses diverses qui suscitent des analogies.

(3) **Communication**: les designers ont besoin d'outils qui permettent une meilleure communication au sein des équipes de design, mais aussi et surtout entre les différents départements impliqués dans les avant-projet (marketing, R&D et design).

(4) **Interface logicielle**: Les designers insistent sur le fait qu'un outil de recherche d'informations doit être performant techniquement, mais également agréable et facile à utiliser.

(5) **Positionnement de produits**: Les designers ont besoin de références design qui leur permettent de se positionner par rapport à des produits concurrents ou similaires, ils ont besoin de pouvoir faire des "comparaisons design".

L'étape d'élicitation du besoin des designers pour le développement du logiciel TRENDS a servi de cadre aux expérimentations que nous avons réalisées dans cette thèse et que nous présentons dans le paragraphe suivant.

4.2 Objectif des expérimentations

Afin d'apporter des réponses à la problématique énoncée plus haut (§ 3.1), nous avons mis en place des protocoles d'expérimentations dont les sujets étaient les designers-partenaires du projet TRENDS au sein des entreprises FIAT et Bertone, et ce, tout au long du déroulement du projet TRENDS.

Notre état-de-l'art a mis en évidence le rôle majeur des images dans le processus de conception de produits. L'objectif de ces expérimentations est de décrire plus en détail le rôle des images en conception, en gardant à l'esprit une réalité terrain liée aux contraintes des entreprises partenaires du projet ; nous souhaitons formaliser une **description de la phase d'exploration en conception**, avec un focus particulier sur la nature des informations visuelles utilisées par les concepteurs, et proposer un outil de recherche d'images qui permettrait une **stimulation de la créativité des concepteurs**. Pour cela, nous cherchons à caractériser les liens qui existent la phase d'exploration et la phase de génération.

Les questions auxquelles nous souhaitons répondre sont les suivantes :

- En quoi consiste la « phase d'exploration » en conception de produits ?
- Quels types d'images sont recherchés et utilisés par les concepteurs dans cette phase ?
- Par quels média ces informations sont-elles recherchées ?
- Comment structurer une base de données d'images pour qu'elle corresponde aux pratiques des concepteurs et qu'elle stimule leur créativité ?

L'expérimentation 1 vise à décrire la phase d'exploration en conception, et en particulier à comprendre en quoi consiste la recherche d'inspiration, à valider les secteurs créatifs utilisés comme sources par les designers et à identifier le rôle des nouvelles technologies (logiciels, internet) dans la recherche d'images inspirationnelles. Une fois cette description de processus établie, nous souhaitons investiguer plus finement le rôle des images : en ce sens, l'expérimentation 2 cherche à caractériser les images utilisées dans la phase d'exploration et à comparer l'utilisation des outils traditionnels et numériques pour la recherche d'images. Enfin, l'expérimentation 3 cherche à évaluer l'impact des images sur la créativité ; en particulier, nous évaluons le niveau de créativité de solutions proposées par les designers avec différents types d'images inspirationnelles (provenant de différents secteurs d'influence).

Notre démarche expérimentale peut se décliner sur deux axes, le processus de conception et le type d'objectifs de résultats, comme nous le représentons sur la figure ci-dessous.

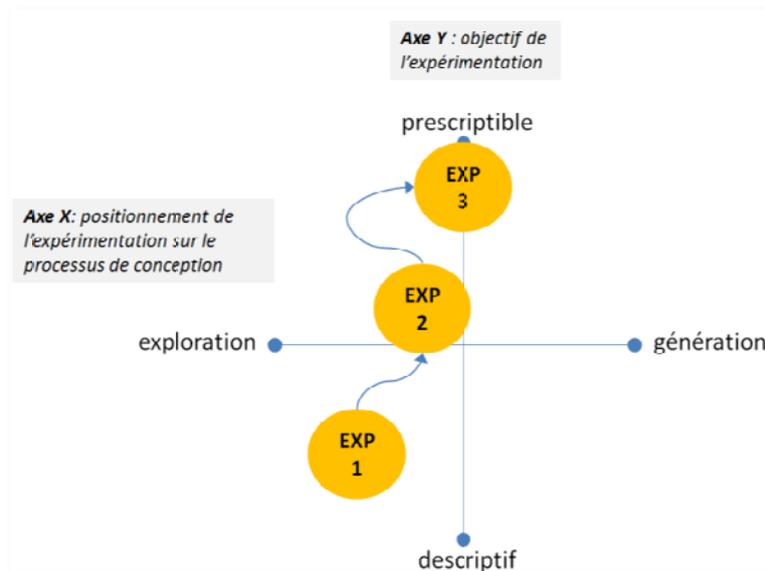


Figure 67: Positionnement des expérimentations sur le processus de conception et par rapport au type d'objectif (descriptif / prescriptible)

Sur l'axe horizontal, notre approche expérimentale **suit le processus de conception** : nous commençons par investiguer la phase d'exploration (EXP.1) et nous terminons sur une expérimentation qui couvre la phase d'exploration jusqu'au passage vers la phase de génération (EXP3.). Avec ces expérimentations, nous progressons également d'une **approche descriptive** (EXP.1), dans laquelle nous cherchons à décrire l'activité des designers, à une **approche prescriptible** (EXP.3), dans laquelle nous formulons des spécifications pour le développement d'un outil logiciel d'aide à l'exploration destiné aux designers.

4.3 Description de la phase d'information du processus de conception (EXP.1)

4.3.1 Objectif de l'expérimentation 1

Cette première expérimentation vise à recueillir sur le terrain, des informations concernant l'activité des designers dans les phases amont des projets de conception, en particulier nous souhaitons

- comprendre en quoi consiste la recherche d'inspiration en design
- valider les secteurs créatifs qui influencent les designers
- identifier l'apport des nouvelles technologies et de l'Internet au design

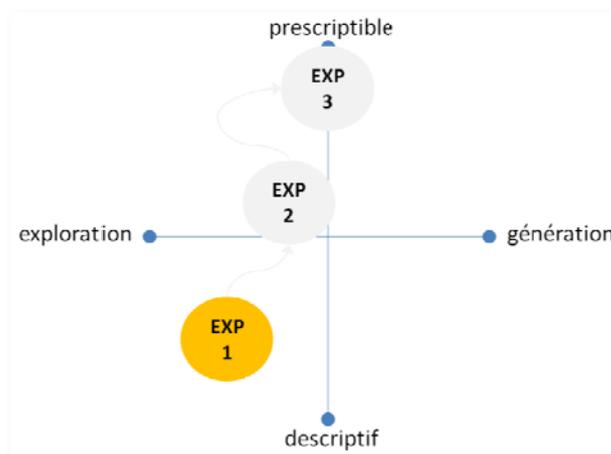


Figure 68 : La première expérimentation se positionne en amont de la phase d'exploration, les résultats sont descriptifs.

4.3.2 Méthode : Entretiens avec les designers

4.3.2.1 Panel de participants

Les participants à notre étude sont trente-deux professionnels du design, en poste dans deux entreprises européennes de design automobile, FIAT et Stile Bertone. Ils ont tous une activité en lien avec les phases amont des projets de conception automobile ; plus précisément, ils se répartissent dans les disciplines professionnelles suivantes : design, marketing, innovation.

Design	22
Marketing	5
Innovation	5

Tableau 9 : Répartition des participants selon leur profil professionnel

Les participants ont une expérience des projets de design variant de quelques années à plus de vingt ans. On note une grande homogénéité dans l'origine des participants : parmi eux, trente sont de nationalité italienne, un de nationalité allemande et un de nationalité britannique.

On gardera à l'esprit que nos résultats d'entretiens pourront éventuellement être liés à des facteurs culturels et qu'ils pourraient ne pas se vérifier dans un contexte différent.

4.3.2.2 **Protocole**

Lors de notre travail d'état-de-l'art, nous avons pris connaissance de plusieurs études récentes sur les designers, sur leurs outils de travail et sur leur façon d'organiser des informations [Sourbé et al., 2006]. Les travaux de [Pasman, 2003], sur l'utilisation d'antécédents design (*design precedents*) dans la création de nouveaux produits, et de [Keller, 2005], sur l'utilisation des ressources visuelles dans le travail des designers suivaient une approche ethnographique d'observation de l'activité des designers. Le but d'une étude ethnographique est de se plonger dans le quotidien des personnes observées, en l'occurrence des designers, de visualiser leur contexte de travail et de prendre connaissance de leur cheminement, intellectuel et physique, dans ce contexte.

Dans notre cas, le principal obstacle à la mise en place d'une étude ethnographique a été la discrétion extrême que sont tenus de respecter les designers de FIAT et de Bertone sur leurs projets en cours. Ainsi, l'accès au contexte de travail quotidien des designers (studio) n'est pas autorisé aux personnes extérieures. Malgré ces contraintes, nous avons cherché à nous approcher le plus possible d'un protocole ethnographique : Dans un premier temps, les designers ont donc complété des questionnaires préparés par les auteurs, dans un second temps les designers ont répondu à un entretien en face-à-face visant à approfondir les réponses données dans les questionnaires.

4.3.2.2.1 *Questionnaires de préparation*

Une semaine avant les entretiens, les participants ont été invités à remplir individuellement un questionnaire de quatorze pages. Ces questionnaires ont permis aux participants de se plonger dans les sujets qui allaient être abordés en entretien, tout en étant libres de choisir l'endroit et le moment pour les remplir. Les questions proposées couvraient les sources d'inspiration au sens large et se focalisaient progressivement sur les médias utilisés, et l'utilisation d'Internet dans les activités créatives. Ces questions visaient à comprendre les méthodes de travail actuelles et la façon dont les designers les jugent.

ADVICE FOR PARTICIPANTS

The different kind of answers

In the "Text" frames, please write down your answers.

In the "Photo" or "Links" frame, please :

- **take a photograph**
- **create a sketch**
- **capture a real image (we will not load it)**

1 Taking photo

You are kindly invited to take pictures with a digital camera in order to illustrate your answers (mind maps, photos...) about your information sources.

You can take around 30 photos and paste them into this document, either on printed paper or in digital way. Please provide us the photo files when we meet for a interview.

2 How should you draw your mind maps ?

- **Show a kind of one clear impression your ideas about the concept illustrated by the picture on the canvas**
- **Write down keywords for our use**
- **Work fast and spontaneously**

An example of mind map created in the context of "being creative"

Who ARE YOU ?

Your name will never be used in the answers analysis. It is only used if we need to contact you for validation.

First name :

NAME :

E-Mail :

Job :

Tell us more about your culture

Please describe the facts that can influence the way you design: Nationality ? Any life experience abroad ?

text

What is your education background and your working experience ?

Design education ? What kind of products did you design before ? How long ?

text

Figure 69: Extrait du questionnaire de préparation

Les questions posées dans le questionnaire étaient les suivantes :

Who are you

Building your visual collections

Where do you catch sources of information or inspiration (media)

In which fields do you search your sources of information or inspiration

Where do you keep and organize your visual materials (location)

How do you categorize collections in your mind?

Using your visual collections

Show where you keep your collections in your work environment

Describe the steps for exploration in the collections you keep

What text do you use to search for information?

What information do you extract out of the collections you browse?

Express your dreams about the ideal way to build a moodboard

Les participants ont été invités à formuler leur réponse de manière spontanée et rapide, sous la forme de « cartes mentales ». Les cartes mentales étant une représentation graphique et créative des idées, elles nous paraissent être une forme d'expression bien adaptée aux designers.

4.3.2.2 Entretiens

Les entretiens ont été menés par trois enquêteurs, dont l'auteur, sur le lieu de travail des designers. Chaque entretien était une rencontre collective en face-à-face entre les enquêteurs et deux designers à la fois. Cette disposition a été retenue pour pallier un problème de langue, les designers n'étant pas tous capables de s'exprimer en anglais, langue choisie pour les entretiens.



Figure 70: Entretiens avec les designers de Stile Bertone et de FIAT (Turin, Italie).

Chaque entretien a duré soixante minutes au maximum ; au total, trente-deux personnes ont été interrogées. Les enquêteurs se sont basés sur une grille d'entretien rédigée au préalable, de manière à mener un entretien semi-guidé. Les participants ont été invités à présenter rapidement un cas habituel de projet de design, avec une attention particulière pour les phases d'initiation du projet, entre la réception du 'cahier des charges design' et la génération de concepts. Ils ont évoqué leurs sources d'inspiration et d'informations, les outils qu'ils utilisent pour conserver les documents jugés intéressants et de leur manière de chercher l'inspiration avec l'Internet. Enfin, une question plus ouverte a abordé la façon dont les designers voient les apports possibles de l'Internet, et des outils numériques en général, en terme de recherche d'inspiration et d'informations.

4.3.3 Résultats

4.3.3.1 Caractéristiques de l'activité de recherche d'informations en phases amont

4.3.3.1.1 Comment intervient la recherche d'informations en design ?

Après la réception du cahier des charges design, le travail de recherche créative est individuel, dans un premier temps. Les designers disposent de une à trois semaines environs pour proposer des idées de concepts. Ensuite, une ou plusieurs idées sont retenues pour être approfondies lors d'un travail collectif.

Cette phase initiale sollicite intensément la créativité des designers, si bien que peu de temps reste disponible pour la recherche d'inspiration. Les designers affirment donc être mieux à même de produire des idées créatives s'ils se sont préparés avant : En somme, la recherche d'inspiration est une activité continue qui permet de préparer les designers à être créatifs à un moment donné.

Trois designers ont décrit leur métier comme n'étant pas '*un boulot de 9h à 17h*', mais plutôt une activité qu'ils pratiquent même en dehors du bureau, en visitant des expositions, en observant des vitrines de boutiques, en dînant au restaurant... Les designers cherchent donc leur inspiration en utilisant leur cinq sens ; cependant, il ressort des entretiens que les activités de design font très largement intervenir le sens visuel : 100% des designers citent spontanément les magazines et les supports visuels comme source d'inspiration majeure.

Plus précisément, on remarque que le processus de design est orienté 'images', plutôt que 'texte'. Il n'est donc pas étonnant que les magazines et Internet soient les sources d'informations les plus souvent citées par les designers.

4.3.3.1.2 Où les designers cherchent-ils des sources d'inspiration ?

Les magazines et les livres sont les sources d'information les plus souvent utilisées. Les designers voient de nombreux avantages à l'utilisation de supports écrits : ils peuvent être lus n'importe où et n'importe quand (*'en buvant mon café le matin'*). D'autre part, les lecteurs de magazines affirment pouvoir retrouver facilement une information vue dans un magazine, grâce au contexte visuel du support.

Tous les lecteurs de magazines favorisent ce mode de renseignement pour le ressenti agréable qu'il procure ; en effet, on peut voir une dimension hédonique dans la lecture de magazine, qui n'existe pas dans la consultation d'Internet. Les lecteurs mettent en avant que 'toucher' et 'manipuler' le magazine sont des activités plaisantes et donc stimulantes pour la créativité.

Internet est également une source d'informations majeure. Tous les participants affirment utiliser Internet quotidiennement à des fins professionnelles. Internet est un outil qui vient en complément des livres et des magazines, mais c'est également un moyen de stimuler la créativité. Un designer voit Internet comme un *'brainstormer'* (agitateur de cerveau).

D'autres média interviennent dans la recherche d'inspiration et d'informations, mais les designers les considèrent comme plus anecdotiques : on peut citer les salons professionnels (*'motorshows'*), l'ambiance sur le lieu de travail (*'un esprit d'entreprise sportif aidera à concevoir des voitures sportives'*), la musique ou les films de cinéma (*'pour créer des sensations qui seront traduites en termes visuels'*).

4.3.3.1.3 Quels secteurs influencent les designers ?

Les designers puisent leur inspiration dans de nombreux domaines créatifs [Bouchard, 1997] ; en tête des citations par les designers, on retrouve le monde du design automobile. Ensuite viennent l'architecture, le design d'intérieur, la mode. Les influences majeures viennent donc du monde automobile, que ce soient les antécédents en design auto, réalisés par les constructeurs concurrents ou par le designer lui-même, ou les domaines proches (*'courses automobiles'*, *'parkings'*).

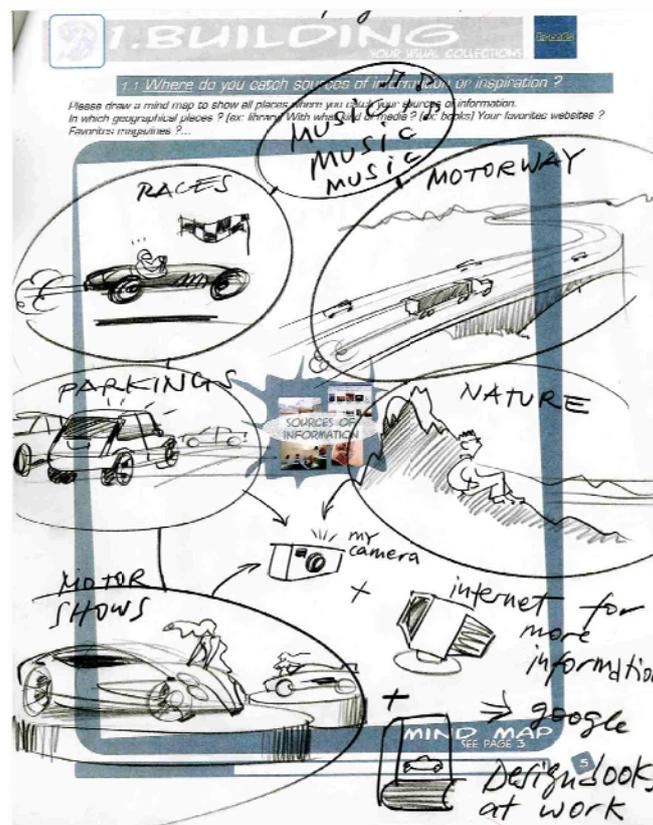


Figure 71 : Extrait d'un questionnaire « Où cherchez-vous l'inspiration ? »

Les designers recherchent majoritairement des images de véhicules qu'ils assemblent de manière à visualiser ce qui a déjà été fait dans le passé. Les designers peuvent également chercher des images de design auto qu'ils souhaitent éviter, tels des contre-exemples. Ces images sont donc utilisées comme une 'étude de marché' de l'existant et aident à fixer des pistes de recherche en design.

D'autres secteurs créatifs servent à l'inspiration et apportent différents éléments fonctionnels au design automobile, comme les lignes, les couleurs, les textures, l'ambiance générale d'un intérieur.

Secteur d'influence	Élément extrait pour le design automobile
Design auto	Propres réalisations passées
	Réalisations des marques concurrentes
Architecture	Volumes
	Lignes
Design d'intérieur	Volumes
	Couleurs
	Textures
Mode	Couleurs
Design nautique	Extérieur → Lignes
	Intérieur → Textures. Ambiance
Aéronautique	Lignes

Tableau 10 : Éléments de design extraits des secteurs d'influence

D'une manière générale, les designers recherchent également des images qui leur serviront à illustrer une émotion, un concept sémantique qui relie chacun des éléments de design. Par exemple, un des designers cite des recherches d'images faites sur des thèmes à priori abstraits tels que '*la fluidité, le danger, la force...*'.

Les entretiens nous ont permis de lister les secteurs d'influence des designers automobile comme le montre le schéma ci-dessous.

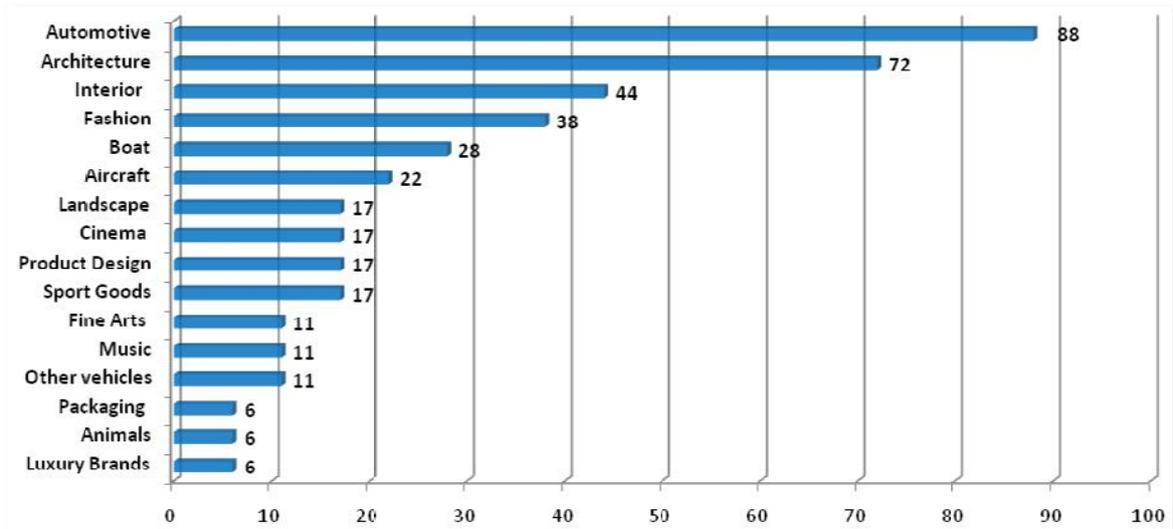


Figure 72: Répartition des secteurs d'influence design selon la fréquence de citation (32 répondants)

Une étude proche avait été réalisée dans le passé par [Bouchard, 1997] et il est intéressant de comparer les résultats de notre étude de 2006 avec ceux relevés précédemment.

1997	2006
Car design / automotive	Car design / automotive
Aircraft	Architecture
Architecture	Interior Design / Furniture
Furniture	Fashion
Domestic appliances	Boat
Objects	Aircraft
Fashion, clothes, textile	Sport Goods
Animals	Product Design
Nature	Cinema / Commercials
Science Fiction	Nature
Virtual reality	City
Painting, Drawing, Graphics	Transportation (bike, trucks)
Cinema	Music
Music	Fine Arts / Sculpture
Travels	Luxury Brands
Food	Animals
	Packaging / Advertising

Tableau 11 : Comparaison des secteurs d'influence des designers automobile en 1997 et en 2006

Outre la place prépondérante des sources provenant du secteur automobile, nous remarquons que de nombreux secteurs sont restés identiques (architecture intérieure/extérieure, mode, nature, aéronautique...) alors que d'autres sont apparus (sculpture, nautisme...). Avec une décennie de recul, on note que les secteurs d'influence du design automobile sont stables dans le temps.

4.3.3.1.4 Comment les designers utilisent-ils l'Internet ?

Pour chercher l'inspiration, on a vu que les designers utilisent principalement les magazines à qui les designers reconnaissent de nombreuses qualités, comme le montre le tableau ci-dessous.

Le principal outil concurrent des magazines est l'Internet, devenu aujourd'hui un outil du quotidien. Une étude réalisée en 1993 montrait que les designers s'inspiraient principalement des clips musicaux de MTV pour prendre connaissance des tendances [Kolli, 1993]. Aujourd'hui, Internet est en passe de devenir le média principal pour la recherche d'inspiration [Keller, 2005]. Notre enquête confirme cette tendance. Chacun des trente-deux participants à l'enquête affirme utiliser Internet quotidiennement.

'Google Images' (<http://images.google.com/>) est cité par tous les participants comme principal moteur de recherche d'images ; la caractéristique la plus appréciée de Google Images est la taille de sa base d'images, celle-ci contient en effet environs 5 milliards d'images (mai 2008). Le moteur de recherche Google Images permet aussi bien une recherche focalisée qu'une recherche vague permettant de trouver par hasard des images inspirantes ; ce phénomène couramment décrit en informatique est appelé **Serendipity** en anglais, que l'on pourrait traduire par « hasard chanceux » qui nomme le fait de trouver des informations que l'on ne cherchait pas a priori, mais qui s'avèrent être utiles.

Les designers ont tous insisté sur le fait qu'un mode de recherche d'images idéal permet à la fois de une recherche focalisée, quand on sait ce qu'on veut, et une recherche floue qui laisse une part au hasard. Un moteur de recherche idéal permettrait d'ouvrir le champ tout en gardant des liens avec ce qui est recherché. La plupart des autres sites Internet cités par les designers sont dédiés au monde de l'automobile : Cardesignnews, Quattroruote, Motorbox, Italiaspeed, Style4cars, Conceptcars.

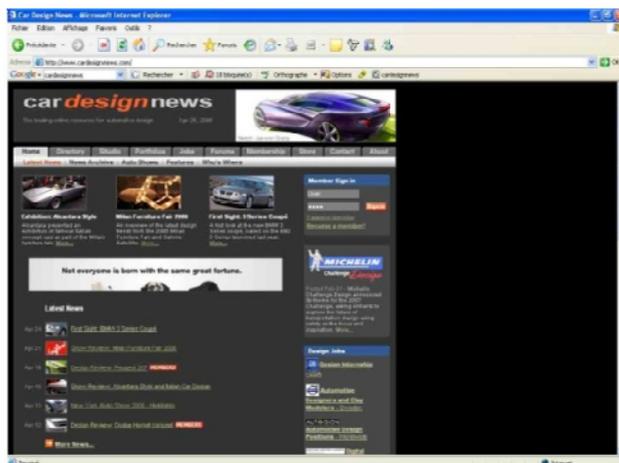


Figure 73: Copie d'écran du site web le plus consulté par les participants de l'enquête : www.carsdesignnews.com

En comparaison aux magazines, l'Internet présente de nombreux défauts, les principaux étant la mauvaise qualité des images qu'on y trouve et la trop grande quantité d'informations disponibles, comme le montre le tableau ci-dessous.

MAGAZINES		WEB	
		Recherche rapide	 Recherche rapide et résultat spontané
		Recherche complémentaire	 Permet de faire une recherche sur des infos trouvées dans un magazine
<i>Matériaux visuels de grande qualité</i>		Qualité des images	 Images de mauvaise résolution
		Taille des images	 Images de trop petite taille
<i>Agréable de feuilleter (toucher)</i>		Plaisir d'usage	
<i>Facile de retrouver un ancien numéro</i>		Archivage	
<i>Très spécialisé. Domaine de spécialisation bien visible.</i>		Spécialisation	
<i>Les magazines étant datés, on sait dater le contenu iconographique et retrouver les images les plus récentes.</i>		Fraîcheur du contenu	
<i>Beaucoup de détails visuels</i>		Détails visuels	
<i>On peut les lire n'importe où, n'importe quand.</i>		Accès flexible	
<i>A une image est presque toujours associée une légende, un texte.</i>		Information contextuelle	
		Quantité d'informations	 Trop d'informations. On ne sait pas par où commencer.
<i>Facilite les associations d'idées et les analogies.</i>		Aide aux associations d'idées	
		Post-editing	 Les images collectées sont facilement travaillées numériquement.

Tableau 12: Comparaison de la perception par les designers de la recherche d'images dans les magazines et sur le web

La trop grande quantité d'images disponibles sur le web ne serait pas un problème, plutôt même un avantage, si les moyens d'accéder à l'information était performants et personnalisés. [Norman, 1988] anticipait déjà que les systèmes d'informations allaient contenir des bases de données toujours plus volumineuses mais que si les designers et architectes de systèmes ne faisaient pas en sorte de guider les utilisateurs à localiser l'information recherchée, ces systèmes d'information couraient à leur perte. Nous en sommes aujourd'hui au stade que Norman avait prévu et la recherche d'informations (*information retrieval*) est un sujet crucial traité par les chercheurs en informatique, et en particulier par notre partenaire de projet, l'Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (INRIA).

En parallèle de l'utilisation d'Internet, on observe que les designers utilisent régulièrement des appareils photos numériques, de manière à garder facilement et rapidement des traces de sources

visuelles qu'ils ont jugées intéressantes. Les photos prises sont stockées dans des bases de données d'images, avec les images recueillies sur Internet.

4.3.3.1.5 Que font les designers des images collectées ?

Les images collectées servent principalement à soutenir les phases inspirationnelles, les images sont donc à l'usage exclusif du designer lui-même.

Dans une moindre mesure, les images servent aussi à communiquer autour des valeurs ou des ambiances qui sont associées à un design. Dans des présentations à des clients, des images ou photos présentées à côté d'une esquisse mettent en évidence des analogies ; par exemple, une photo de Formule 1 disposée à côté d'une esquisse de tableau de bord d'une voiture de sport série renforcera l'idée de sportivité de la voiture série. L'intérieur de la FIAT Multipla a été associé à des photos d'une famille et de tasses de café, pour renforcer l'idée de « famille » et d' « italianité ».

Si seulement la moitié des designers disent utiliser des planches de tendances dans le cadre de leurs projets, tous cherchent et sélectionnent des images comme support à l'inspiration et aux tâches créatives. Les matériaux visuels collectés sont également utilisés dans les réunions de projet où certaines des propositions des designers sont sélectionnées pour être affinées dans la suite du projet.



Figure 74: David Wilkie, design manager de Stile Bertone, présentant des planches de tendances

4.3.3.2 Modélisation du processus de design amont

Ces entretiens font ressortir les différences de fonctionnement entre les équipes de Stile Bertone et de FIAT. Cette dernière base une grande part de son processus sur le marketing, et d'après les diverses analyses du marché choisit un concept à développer. Les données d'entrées pour les designers de FIAT sont donc le brief marketing (par exemple le développement d'un roadster pour des jeunes actifs n'ayant pas d'enfants devant être sportif et élégant) et les contraintes techniques et dimensionnelles. Le service design de FIAT n'est abonné ni à des magazines, ni à des sites Internet spécialisés.

Les designers de Stile Bertone travaillent dans un autre contexte. Hormis un concept-car annuel propre à la marque, les briefs design sont issus des clients. Il en existe deux types : un premier plus marketing issu des constructeurs européens, un second type plus vague provenant des constructeurs de nouvelles puissances émergentes (Inde et Chine principalement) qui ne savent pas toujours ce qu'ils veulent en terme de design. Les designers de Stile Bertone ont accès à des abonnements magazines et des sites Internet payants.

4.3.4 Conclusion sur l'EXP 1

Cette première expérimentation réalisée avec 32 designers auto de deux entreprises différentes (FIAT et Stile Bertone) a permis d'améliorer notre connaissance des phases très amont du processus de conception automobile, en particulier de l'activité de recherche d'informations par les designers professionnels, synthétisée dans la figure suivante :

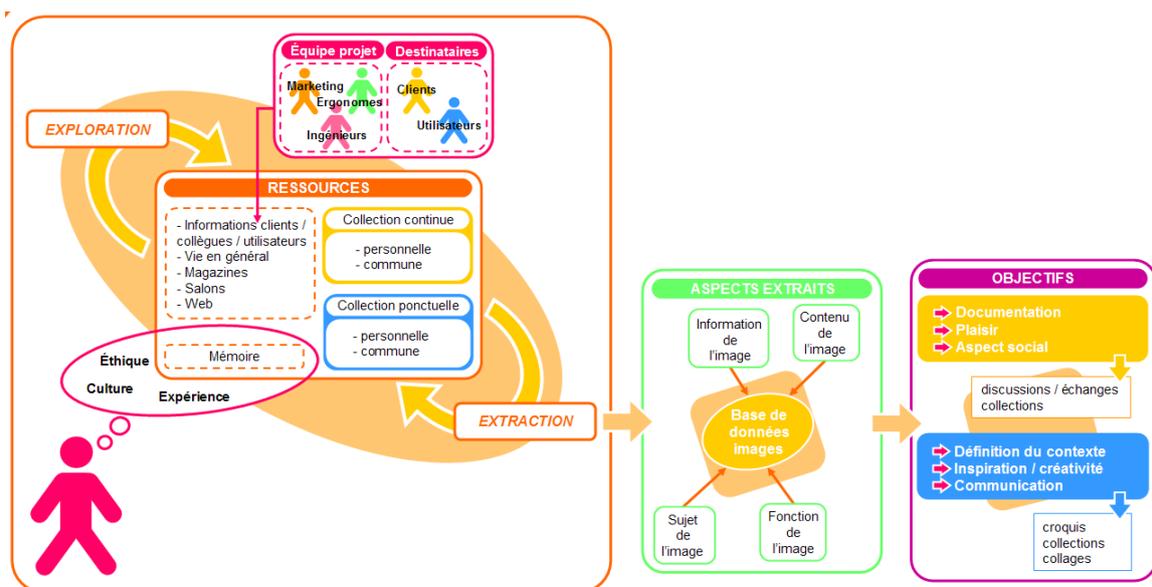


Figure 75 : Modélisation de l'utilisation de l'information par les designers [Sourbé et al., 2006]

Il en ressort que les designers exercent une veille continue sur les tendances : la recherche d'informations est donc plus une activité diffuse et perpétuelle qu'une étape de projet à proprement parler. Les magazines et les livres sont des sources iconographiques classiques et répandues mais il apparaît que le web est en train de modifier la manière de travailler des designers. L'Internet est flexible, facilement accessible et riche en informations visuelles : c'est donc un outil cohérent avec l'activité continue de veille sur les tendances. Le défaut majeur du web est que les moyens d'accéder aux images ne correspondent pas aux pratiques des designers ; en effet, alors que les designers s'expriment principalement par un langage visuel [Eckert, 1998, 2000], des outils comme Google Images imposent l'utilisation de mots-clés pour la recherche d'images.

Enfin, on retient que de nombreux secteurs de création influencent les designers, tels que l'architecture ou la mode ; aujourd'hui le secteur d'influence cité en premier place par les designers auto est aujourd'hui le design automobile lui-même. Les designers recherchent en effet principalement des informations sur les antécédents en design auto et sur les tendances chez les constructeurs concurrents.

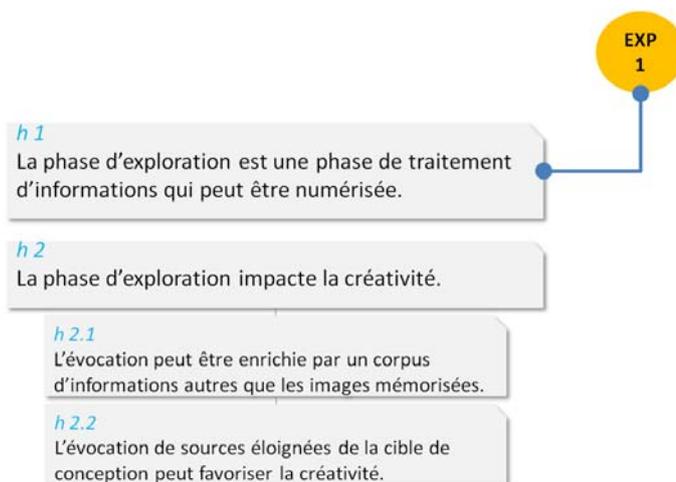


Figure 76 : L'expérience 1 permet de valider l'hypothèse 1

En somme, notre première expérimentation met en évidence qu'il existe des médias et des secteurs d'influence bien identifiés par les designers, qui leur sont utiles dans leur veille inspirationnelle. La consultation régulière de ces sources peut donc être assistée par un outil numérique qui permettrait une collecte d'informations plus exhaustive et plus rapide.

La phase d'exploration est aujourd'hui une phase de traitement d'informations, d'images principalement, par les designers ; cette phase peut être numérisée et assistée par un logiciel qui aiderait en particulier à la recherche d'images. L'hypothèse h1 est donc validée.

4.4 Typologies d'informations recueillies par les concepteurs (EXP.2)

4.4.1 Objectif de l'expérimentation 2

Avec les entretiens et les questionnaires de EXP.1, nous avons fait l'état-des-lieux du processus inspirationnel et des informations utilisées par les designers dans les phases amont ; nous souhaitons affiner cet état-des-lieux en caractérisant les différents types d'informations utilisés. Nous proposons donc une expérimentation en laboratoire pour observer de quelle manière les designers sélectionnent les informations qu'ils jugent utiles à la conception et de quelle manière ils associent mots et images.

L'objectif de EXP.2 se décompose ainsi en deux points :

- décrire l'activité cognitive des designers pendant le processus inspirationnel de recherche d'images
- évaluer l'influence des sources informationnelles sur la créativité des designers et voir s'il y a une différence entre magazines et sites web.

Cette expérimentation se base sur l'hypothèse suivante : dans les phases amont de la conception, la recherche d'informations est une activité individuelle (cf. EXP.1) basée sur des stratégies personnelles liées à l'affect de chaque designer. Pour chercher des images, les designers utilisent des ressources « traditionnelles » (magazines) et des ressources numériques (Internet), comme décrit par EXP.1 : on anticipe également qu'il existe des différences entre le mode traditionnel et le mode numérique, en terme d'informations cherchées.

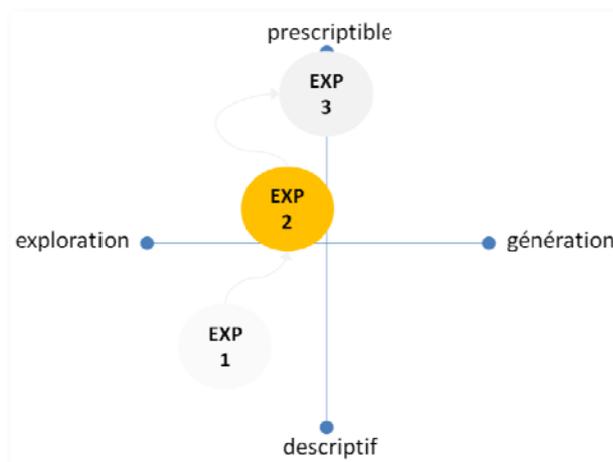


Figure 77 : La deuxième expérimentation vise à affiner les résultats de la première expérimentation.

4.4.2 **Méthode : simulations de la phase d'information (collecte et catégorisation d'images)**

L'expérimentation est réalisée avec 4 designers professionnels de FIAT et de Stile Bertone, qui avaient déjà participé auparavant à l'EXP.1 (entretiens). Les participants sont de nationalité variée : 2 Italiens, 1 Allemand et 1 Français et d'âge compris entre 27 et 33 ans (moyenne 29,8 ans). Leur expérience professionnelle du design est comprise entre 3 et 7 ans (moyenne : 5,3 ans). Tous les participants peuvent s'exprimer en anglais. Dans la présentation des résultats de l'expérimentation, nous nommons les participants ainsi : "Designer 1", "Designer 2", "Designer 3" et "Designer 4".

Chaque session expérimentale est réalisée par un expérimentateur (dont l'auteur) qui interagit avec un designer. Avec l'accord des participants, les sessions sont filmées. Nous présentons ici 2 tâches proposées aux participants, les tâches se voulant le plus proche possible d'une activité professionnelle réelle, pour cela nous nous basons sur les connaissances issues de EXP.1. Les expérimentations ont lieu sur le site professionnel habituel des designers, mais hors studio de design, pour des raisons de confidentialité. Les participants sont invités à réaliser ces tâches comme s'ils étaient impliqués dans leurs activités habituelles de veille informationnelle et de recherche d'images.

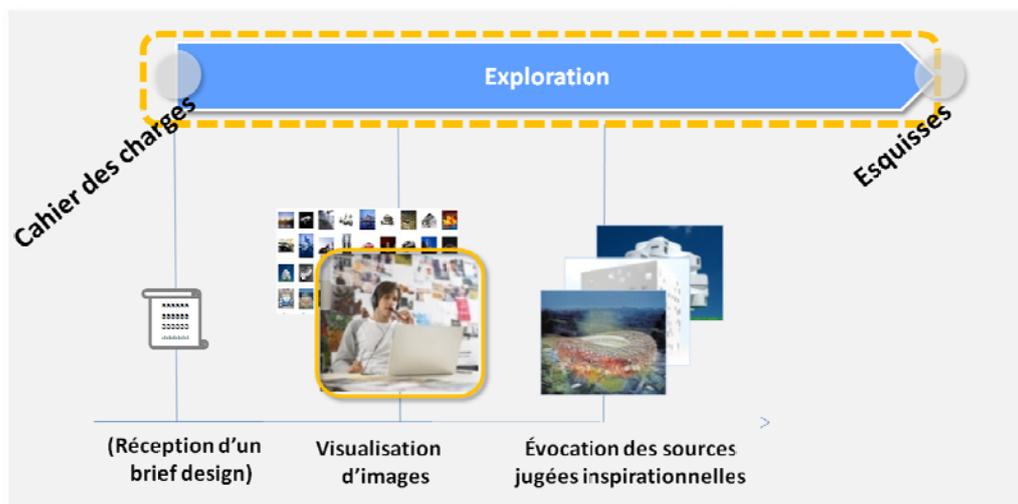


Figure 78 : Schématisation du protocole de l'expérimentation 2

4.4.2.1 **Partie 1: Exploration libre de ressources visuelles**

Cette partie vise à observer comment les designers explorent les ressources visuelles, sans contraintes, sans cahier des charges. Dans cette tâche, les participants feuilletent librement des ressources inspirationnelles qui leur sont données, c'est-à-dire 6 magazines imprimés et 10 sites web, sur le design automobile, la mode, le mobilier, l'art et l'architecture ; les ressources proposées

sont celles qui étaient évoquées par les participants dans l'EXP.1, on en trouve les références exactes dans le tableau ci-dessous.

Nom du magazine	Référence	Secteur représenté
Carl*s Car	N° 16 – July 2006 Issue (131 pages)	Automotive Design and Lifestyle
DAM	N° 7 – July / August 2006 Issue (168 pages)	Design, Art & Architecture
ELLE	August 2006 Issue (218 pages) – UK Edition	Fashion, Lifestyle and People
ESTETICA DESIGN	N° 6 – July 2006 Issue (102 pages)	Architecture and Interior Design
FRAME	N° 51 – July / August 2006 Issue (209 pages)	Interior Design, Product Design
VANITY FAIR	August 2006 Issue (148 pages) – UK Edition	Fashion, Lifestyle and People
Nom du site web	URL (version du 25.07.2006)	Secteur représenté
Ads of the world	adsoftheworld.com	Advertising
Car Design News	www.cardesignnews.com	Automotive Design
Design Goodness	www.frederiksamuel.com/blog/	Design - Advertising
Design*sponge	www.designsponge.blogspot.com	Design
Inside-photo.com	www.inside-photo.com	Architecture
MoCo Loco	www.mocoloco.com	Product Design
My Fashion Life	www.myfashionlife.com	Fashion and People
Style 4 Cars	www.style4cars.com	Automotive Design
Truc design	www.trucdesign.com	Product Design
Wallpaper*	www.wallpaper.com/architecture	Architecture & Design

Tableau 13 : Magazines et sites web fournis aux participants pour la partie "exploration libre"

Les magazines et sites web utilisés dans EXP.2 proposent des images issues des secteurs créatifs identifiés comme des secteurs d'inspiration par les participants lors des entretiens de EXP.1 (automobile, architecture...). Les participants sont invités à identifier les images qu'ils jugent « inspirationnelle », sans qu'ils ne suivent un cahier des charges ou des contraintes quelconques, ceci dans le but de simuler une situation de « veille continue » sur les tendances et le design.



Figure 79: Designer participant à la tâche d'annotation d'images

Dès qu'une image est jugée inspirationnelle, elle est sauvegardée (découpée pour les images issues des magazines et sauvegardées sur le disque dur pour les images issues des sites web) et le participant doit identifier quel élément de l'image lui paraît inspirationnel (les exemples donnés par

l'expérimentateur sont la forme, la sémantique...) et noter cette information sur une étiquette associée à l'image. Une fois la tâche de collection d'images terminée, le participant doit réunir les images sélectionnées en paquets cohérents et annoter les paquets avec des noms qui les caractérisent.

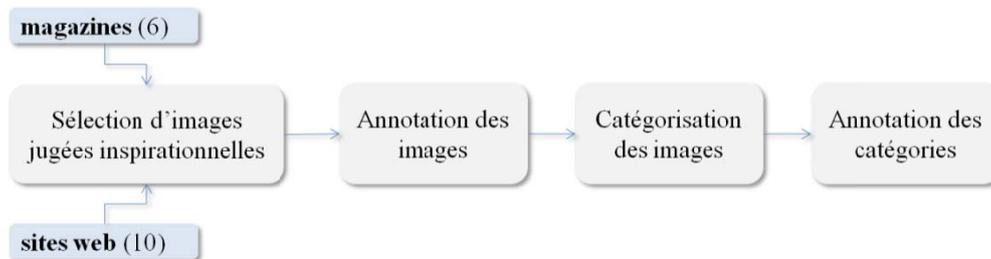


Figure 80 : Etapes du protocole d'exploration libre de ressources visuelles

Une durée totale d'environ 30 minutes est allouée à chaque participant pour la réalisation de cette tâche.

4.4.2.2 **Partie 2: Exploration de ressources visuelles contrainte par un brief design**

Dans un second temps, les participants recherchent des images qui leur paraissent inspirationnelles dans un contexte de conception contrainte par un cahier des charges (*design brief*) qui donne des indications sur le type de véhicule à concevoir ainsi qu'un indice sur les valeurs sociologiques et émotionnelles que le véhicule doit incarner (*Zinedine Zidane Roadster*), comme le décrit la figure ci-dessous.

TARGET CAR-MAKER	European car-maker
TARGET CUSTOMERS	Young male driver in his 20's
TYPE OF VEHICLE	"Zinedine Zidane" Roadster

Figure 81 : Cahier des charges 'design' donné aux participants

Les participants devaient écrire les mots qui leur venaient à l'esprit à la lecture du brief ; ils devaient ensuite chercher des images illustrant, d'après eux, le brief, grâce à des moteurs de recherche d'image utilisés par les professionnels (Corbis, Fotolia, Getty, Google Images, Inside, Masterfile). Pour cela, les participants étaient invités dans un premier temps à utiliser comme mots-clés les mots qu'ils avaient cités, ensuite ils pouvaient utiliser les mots de leur choix. Quand une image paraissait utile

pour illustrer le brief, elle était sauvegardée sur le disque-dur du PC. Les participants expliquaient leur choix oralement et l'expérimentateur prenait les commentaires des participants en note.

Nom du moteur	Référence
Corbis	http://pro.corbis.com/
Fotolia	http://en.fotolia.com/
Getty	http://www.gettyimages.com/
Google Images	http://images.google.com/
Inside	http://www.inside-photo.com/
Masterfile	http://www.masterfile.com/

Tableau 14 : Moteurs de recherche d'images fournis aux participants pour la partie "exploration contrainte"

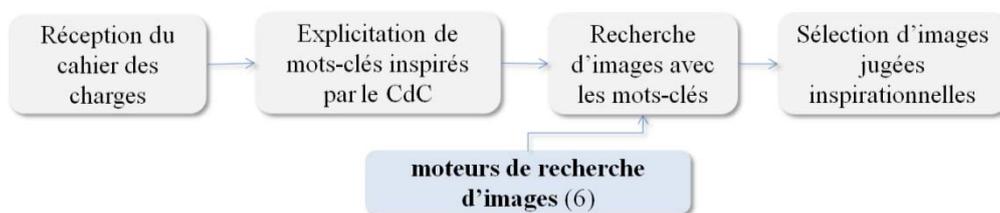


Figure 82 : Etapes de l'exploration de ressources visuelles contrainte par un cahier des charges design

Une durée totale d'environ 30 minutes est allouée à chaque participant pour la réalisation de cette tâche.

4.4.3 Résultats

4.4.3.1 Exploration libre de ressources visuelles: comparaison Magazines / Sites web

4.4.3.1.1 Nombre d'images inspirationnelles

Depuis les magazines et les sites web fournis par les expérimentateurs, les participants sélectionnent les images qu'ils trouvent inspirationnelles. Une première observation importante est que le nombre d'images sélectionnées par tous les participants varient en fonction du medium, 55 images sont sélectionnées dans les magazines et seulement 31 images, des sites web. Les participants disposaient d'autant de temps pour visualiser les magazines et les sites web, le nombre d'images disponible est nettement supérieur sur les sites web que dans les magazines, les secteurs représentés étaient les mêmes. On remarque donc que les participants trouvent les magazines plus inspirationnels que les sites web.



Figure 83: Exemples d'images sélectionnées par les utilisateurs car "inspirationnelles"

4.4.3.1.2 Sélection différente selon les individus

On voit dans la figure ci-dessous la seule image sélectionnée par plus d'un participant. Deux participants ont sélectionné cette image, et tous les deux l'ont associée au concept de « simplicité » due à sa « forme ». Cette observation nous montre que même à partir d'un nombre d'images limité (dans ce cas-ci, provenant de 6 magazines imprimés), les designers ne choisissent pas les images.



Figure 84: Descriptions données par les participants de la seule image sélectionnée par plus d'un participant

4.4.3.1.3 Type d'images sélectionnées

Dans la sélection dans les magazines, 55 images sont sélectionnées par les quatre participants. La majeure partie de la sélection (44 images) consiste en des images de la taille d'une page A4, comportant un seul sujet visuel et pratiquement aucun texte. Au contraire, les images comportant de nombreux sujets de petit format et beaucoup de texte tendent à être rejetées par les participants (seulement 5 images sélectionnées).

Seulement 6 images sélectionnées étaient en format A3 (double-pages de magazine). Toutes les images de ce format ont été sélectionnées par le même designer (qui avaient créé en majorité des catégories liées à des sensations et à des atmosphères). Notre interprétation est que le format A3 pourrait permettre une meilleure immersion dans l'image et donc une perception d'élément de plus haut-niveau d'abstraction.

Format	1 page (A4)	1 page (A4)	2 pages (A3)
Informations visuelles	1 élément	Plusieurs éléments	1 élément
Informations lexicales	Pas de texte	Texte	Pas de texte
% de ce type dans la sélection des participants	~ 80 %	~ 10 %	~ 10 %
Exemple			

Tableau 15 : Caractérisation des images sélectionnées par les participants (total: 55 images sélectionnées)

4.4.3.1.4 Sources d'influence

Les images jugées inspirationnelles peuvent d'abord être caractérisées par le type de magazine dont elles proviennent : parmi les 6 magazines proposés par les expérimentateurs, les participants n'en ont choisi qu'entre 3 et 5 à feuilleter dans les 30 minutes imparties. FRAME et DAM sont les

magazines desquels la sélection d'images étaient la plus importante, tandis que ELLE et VANITY FAIR étaient les moins fréquemment sélectionnés. Les quatre participants ont sélectionné un total de 55 images jugées inspirationnelles, dont l'origine se répartit de la façon suivante :

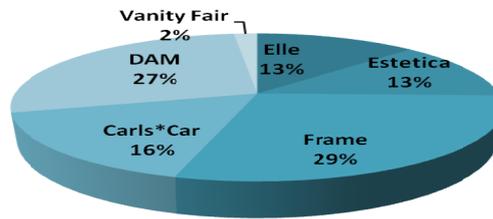


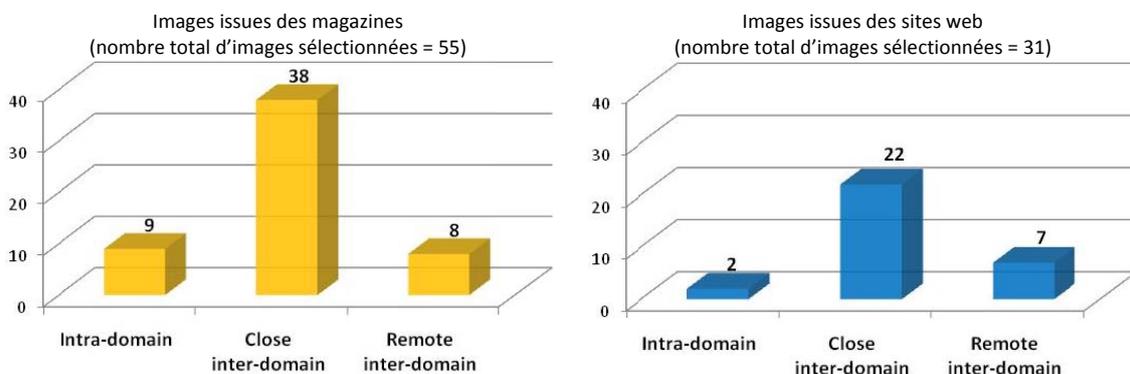
Figure 85: Répartition des magazines à l'origine des images sélectionnées (ex: 29% des images sélectionnées proviennent du magazine "Frame")

D'autre part, et comme on l'a vu plus haut [Bonnardel & Marmèche, 2005], le contenu des images peut être caractérisé par sa distance avec le domaine des designers (ici, automobile) ; ainsi, selon le magazine d'origine de l'image, nous avons catégorisé les images en *intra-domain*, en *close inter-domain* ou en *far inter-domain*, comme défini dans le tableau ci-dessous.

Type de sources [Bonnardel & Marmèche, 2005]	Definition	Cas de notre étude
Intra-domain 	La plupart des propriétés entre les sources d'information et le produit à concevoir sont partagées.	Auto et transport
Close Inter-domain 	Une partie des propriétés entre les sources d'information et le produit à concevoir sont partagées.	Design produit et architecture
Far Inter-domain 	Les sources d'information et le produit à concevoir n'ont à priori rien en commun.	Mode, lifestyle, people

Tableau 16 : Définition des « domaines de sources », adapté de [Bonnardel & Marmèche, 2005]

Nous obtenons la répartition représentée dans les figures ci-dessous, la figure de gauche représentant les images issues des magazines, la figure de droite les images extraites des sites web.



Abcisses: domaine dont l'image est issue - Ordonnée : Nombre d'images

Figure 86: Nombre d'images sélectionnées (des magazines et des sites web) suivant le type de source

On remarque que la répartition du domaine d'origine est très ressemblante entre la sélection d'images provenant de magazines et la sélection d'images provenant de sites web ; pour les deux types de media, le plus grand nombre d'images (environ 70% du corpus sélectionné total) est issu du *close inter-domain*.

4.4.3.1.5 Niveau d'abstraction du contenu des images

Une autre piste de caractérisation des informations inspirationnelles est la catégorisation des images en terme de niveau d'abstraction de l'information perçue par les designers. En effet, les informations peuvent être de **bas-niveau** d'abstraction, c'est-à-dire liées aux caractéristiques physiques d'un produit, jusqu'à un **haut-niveau**, c'est-à-dire liées aux caractéristiques sémantiques ou affectives perçues par le spectateur de l'image. Nous distinguons 3 niveaux d'abstraction (bas, moyen, haut) dont les définitions et des exemples sont donnés dans le tableau suivant.

Niveau d'abstraction	Contenu-type de l'image
Haut	Emotions, atmosphères and sensations
Moyen	Produits ou secteurs
Bas	Matériaux, couleurs, textures

Tableau 17 : Définition des niveaux d'abstraction

Pour catégoriser les images en terme de niveau d'abstraction, les participants devaient grouper les images qu'ils avaient jugées inspirationnelles en paquets cohérents et nommer les paquets créés. Nous répartissons les annotations des participants dans l'une des trois catégories, comme nous le voyons dans le tableau ci-dessous.

Exemples tirés dans notre étude	→ Niveau d'abstraction
<i>Cool, Provocation</i>	→ Haut
<i>Architecture, Products</i>	→ Moyen
<i>Colors, Shapes</i>	→ Bas

Tableau 18 : Répartition des annotations dans l'un des trois niveaux d'abstraction

Toutes les annotations ont donc été réparties dans l'un des trois niveaux d'abstractions et le nombre d'images associées à une annotation définit le poids à donner. Certaines images peuvent être associées à plusieurs niveaux d'abstraction, dans le cas d'annotations comme *Shape Simplicity*, qui est affilié à un bas niveau (*Shape*) et à un haut-niveau (*Simplicity*). Cette répartition se base sur les noms que les participants ont donné aux catégories d'images, elle s'appuie donc sur la perception que les designers ont des images qu'ils ont jugées inspirationnelles.

Nom des catégories d'images et nombre d'images pour la sélection des magazines		Nom des catégories d'images et nombre d'images pour la sélection des sites web		Niveau d'abstraction
<i>Miscellaneous</i>	4		0	→ indéfini
<i>Graphics</i>	8			
<i>Textures</i>	2	<i>Sketches</i>	1	
<i>Colors</i>	2	<i>Backgrounds</i>	3	
<i>Shapes (harmonies dynamics)</i>	10			
<i>Shapes (simplicity)</i>	4			
Total	26		4	→ Bas niveau
<i>Objects and shapes</i>	2	<i>Objects</i>	3	
<i>Product design</i>	4	<i>Products</i>	1	
<i>Garage</i>	3	<i>Car</i>	1	
<i>Architecture</i>	2	<i>Furniture/Interior Design</i>	6	
		<i>Graphics</i>	8	
Total	11		19	→ Moyen niveau
<i>Impressions</i>	2			
<i>(Shapes) harmonies dynamics</i>	10			
<i>(Shapes) simplicity</i>	4	<i>Provocation</i>	2	
<i>Ambiances atmospheres emotions</i>	3	<i>Atmosphere</i>	5	
<i>Cool</i>	2	<i>Cool</i>	1	
<i>Atmosphere</i>	4			
<i>Style</i>	4			
Total	26		8	→ Haut niveau

Tableau 19 : Répartition des images (noms de la catégorie et nombre d'images) dans les trois niveaux d'abstraction

La répartition présentée dans le tableau est représentée dans la figure ci-dessous.

On peut observer que le profil de la répartition en niveaux d'abstraction est très différent selon que les images ont été extraites des magazines ou des sites web. En effet, on voit qu'environ 40 % des images sélectionnées des magazines ont été sélectionnées par les participants parce qu'elles représentaient un haut-niveau d'abstraction (contenu sémantique ou affectif), alors que seulement 25% des images sélectionnées des sites web sont dans ce cas. Au contraire, les images sélectionnées sur le web tendent en majorité (à 60 %) à représenter un produit ou un secteur (*Car*, *Furniture*), ce qui correspond à un niveau moyen d'abstraction.

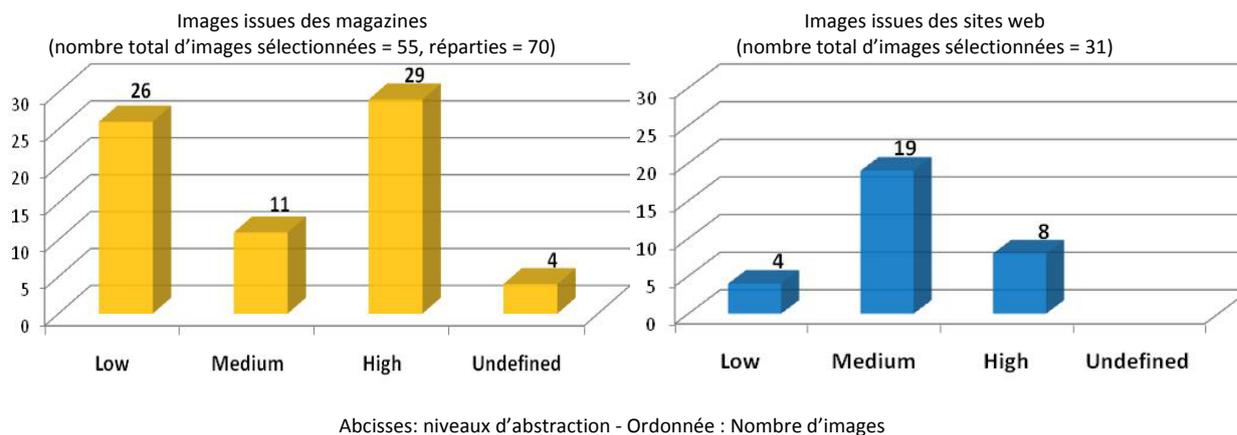


Figure 87: Nombre d'images sélectionnées (des magazines et des sites web) suivant le niveau d'abstraction

4.4.3.2 Exploration visuelle contrainte par un brief design

L'objectif de cette phase est de caractériser les requêtes d'images sur le web, dans un contexte simulant le processus de conception par l'utilisation d'un brief design donné aux participants. Nous observons deux points intéressants : 1) spontanément, les designers tendent à activer leur connaissance du secteur auto et à faire référence à des images du secteur auto. 2) les requêtes sur le web, par le contenu des bases de données et/ou le mode de recherche des images, ne permettent pas de trouver des images qui illustrent les idées des designers.

4.4.3.2.1 Le secteur automobile : un secteur qui influence fortement les designers auto

Après la réception du brief design, tous les participants ont spontanément cité des noms de constructeurs automobiles ou des modèles qui se rapprochaient du brief : deux participants ont dessiné des esquisses de modèles auxquels ils pensaient (inspirés de *Smart* et de *Renault*) et deux autres ont lancé directement des recherches sur Internet sur le modèle *BMW Z4*.

Dans la tâche précédente sans brief design, les participants avaient tendance à visualiser et retenir des images qui n'étaient pas forcément en relation avec le milieu automobile, alors qu'avec un brief design orienté automobile, tous les participants semblent spontanément s'orienter vers des sources intra-domaine (liées au milieu automobile).

4.4.3.2.2 L'Internet ne permet que des recherches d'images de bas-niveau d'abstraction

Le brief design donné aux participants visait à retrouver l'esprit Zinedine Zidane dans le modèle à concevoir et donc, on attendait des participants qu'ils cherchent des images pour illustrer des éléments abstraits tels que des valeurs, des émotions ou des traits de personnalité associés à la star du football. Pour observer cette démarche, le protocole était réalisé en deux volets : dans un premier temps, les participants devaient écrire les mots que leur inspirait le brief design ; ensuite, les

participants devaient réaliser des requêtes sur des moteurs de recherche d'images afin de trouver des images illustrant les mots qu'ils avaient cités auparavant. Nous avons ainsi pu comparer les idées d'images que les designers ont spontanément en recevant le brief et les images qu'ils parviennent réellement à recueillir sur Internet.

Prenons l'exemple d'un participant : après réception du brief, les mots cités étaient les suivants: *versatile, accessories, fun, 2-seat car, city, zainetto*. Ensuite, les recherches d'images sur Internet se sont déroulées selon la séquence décrite dans le tableau ci-dessous.

Etape	Moteur	Mot-clé utilisé	Images trouvées et sélectionnées par le designer
1	CORBIS	Zainetto	Pas d'image satisfaisante
2	CORBIS	Zainetto + Bag	Pas d'image satisfaisante
3	CORBIS	Zainetto + Back bag	Pas d'image satisfaisante
4	GOOGLE	Zaino Seven	
5	GOOGLE	Bag	
6	GOOGLE	City	Pas d'image satisfaisante
7	GOOGLE	Traffic	
8	GETTY	Fun	Pas d'image satisfaisante
9	GETTY	Versatile	Pas d'image satisfaisante
10	GETTY	Sport	
11	FOTOLIA	∅	Pas d'image satisfaisante

Tableau 20 : Séquence de recherche d'images par "Designer 1"

On voit donc que ce participant n'a pas réussi à trouver d'images satisfaisantes pour illustrer toutes ces idées et en particulier les idées liées à des concepts abstraits (*Fun, Versatile*).

Seul 'Designer 3' était satisfait des images qu'il avait trouvées avec les mots-clés suivants : *BMW Z4, Lotus Exige, Zidane, Football* ; on remarque ces mots désignent des éléments concrets et que le lien mot-clé/image est assez direct. Pour tous les autres participants, les résultats des requêtes n'étaient pas satisfaisants ; les quelques images retenues étaient des images trouvées par hasard, et non grâce aux mots-clés utilisés pour la requête.

Notre interprétation de ce résultat est d'une part que les requêtes effectuées grâce à des moteurs de recherche ne fournissent pas suffisamment d'images qui correspondent aux attentes des designers. D'autre part, ce problème apparaît particulièrement lorsque les designers cherchent des images pour illustrer des éléments abstraits (valeurs, émotions).

4.4.4 **Discussion et apports**

4.4.4.1 **Les outils numériques transforment l'activité des designers**

Au cours de cette expérimentation, nous avons remarqué dans plusieurs situations que la recherche d'images dans les magazines est différente de la recherche d'images sur les sites web.

Par exemple, nous avons observé que les designers ne sélectionnaient pas le même type d'images selon que ces dernières provenaient de magazines ou de sites web, en terme de niveau d'abstraction du contenu : les images des magazines étaient plutôt sélectionnées pour leur appartenance à un haut-niveau d'abstraction (sémantique et affectif) tandis que les images des sites web pour leur appartenance à un moyen-niveau (produits ou secteurs de produits).

Nous avons également remarqué qu'il existe un fossé entre l'intention du designer en terme d'images lorsqu'il reçoit un brief design et le type d'images qu'il parvient réellement à trouver avec les moteurs de recherche. Trois des quatre participants n'étaient pas satisfaits des images trouvées, car ces images n'illustraient pas correctement ce que les designers cherchaient avec les mots-clés proposés. Afin de trouver des images illustrant le concept de *compétition*, un participant a utilisé des mots-clés susceptibles d'être 'mieux compris' par le moteur de recherche (*Footwear*, puis *Footwear + Sport*, puis *Footwear + Sport + Design*). On voit donc que les recherches d'images basées sur des mots-clés abstraits (valeurs, émotions) sont particulièrement décevantes pour les designers et que les moteurs de recherche d'images actuels imposent aux designers d'inventer des stratégies de recherche d'image (contournement par utilisation d'autres mots-clés).

Les moteurs de recherche d'images les plus utilisés actuellement par les designers ne sont en fait pas adaptés aux pratiques et à l'activité cognitive naturelle des designers, car ils ne permettent pas d'accéder spontanément aux images recherchées par les designers.

4.4.4.2 **Une culture commune mais des stratégies personnelles de recherche d'images**

On a également vu dans cette expérimentation que la phase d'exploration en conception est une combinaison de points communs entre designers et de spécificités individuelles, comme l'affirme [Visser, 2006] d'un point de vue général au sujet du processus de conception.

Les designers tendent à s'inspirer des mêmes sources et des mêmes secteurs : par exemple, les participants ont sélectionné les sources d'images d'une manière très similaire ; aucun d'eux n'a feuilleté le magazine VANITY FAIR, tandis que tous ont passé plus de la moitié du temps alloué à feuilleter le magazine FRAME. On a également vu que les designers tendaient à sélectionner les mêmes univers influents (design produit, architecture). Dans la tâche avec le brief "Zidane Roadster", tous les designers ont commencé par citer une marque ou un modèle automobile (*Smart, Renault, BMW Z4* et *BMW Z4*.) Une caractéristique de ces designers est donc s'appuyer sur des références communes empruntées à leur secteur de référence, l'automobile.

Mais même si les designers tendent à se rapprocher globalement de sources et de références similaires, la sélection d'images au sein de ce corpus répond à des stratégies très personnelles. En effet, on voit qu'une seule image (sur un total de 55) a été sélectionnée par plus d'un participant. Au sein d'un corpus limité d'images, le risque que plusieurs personnes utilisent la même image pour leur travail d'exploration est donc très faible. D'autre part, on remarque une grande disparité inter-individuelle dans la sélection d'images en terme de niveau d'abstraction de l'image. Un designer n'a créé que des catégories d'images à haut-niveau d'abstraction (*Cool, Style, Impressions, Atmospheres*) tandis qu'un autre n'a créé que des catégories d'images de moyen-niveau d'abstraction liées à des secteurs d'influence (*Architecture, Product Design*). Les deux autres participants ont créé une catégorisation mixte. On a vu également que pour illustrer le brief « Zidane Roadster », certains participants évoquaient spontanément des éléments abstraits (*Popular, Versatile, Fun*), d'autres évoquaient uniquement des éléments concrets (*BMW Z4, Lotus Exige*). Les stratégies de recherche d'images sont très différentes d'un participant à l'autre.

Les designers partagent des références communes, un intérêt commun pour certains univers (auto, architecture) et pour certaines sources (magazines d'architecture, le site web 'cardesignnews') mais partant de ce socle commun, ils suivent des stratégies de recherche d'images inspirationnelles très personnelles, par exemple en ciblant différents niveaux d'abstraction du contenu de l'image.

4.4.4.3 **La subjectivité des designers intervient dans l'activité de recherche d'informations**

Cette expérimentation a mis en évidence l'importance de l'abstraction dans la recherche d'images et dans la sélection d'images inspirationnelles: les designers cherchent des images pour illustrer des concepts abstraits, des émotions, des valeurs, qu'ils ont en tête et inversement, les images inspirent des émotions, des valeurs aux designers.

Par exemple, on a vu que la majorité des images sélectionnés dans les sources traditionnelles comme les magazines étaient décrites par des mots-clés liés à des émotions ou des atmosphères. Les designers sont à la recherche d'images qui représentent pour eux un haut-niveau d'abstraction ; ils parviennent à trouver ce type d'images dans les magazines pas sur le web. En effet, on a vu que le web fournissaient principalement des images de moyen-niveau d'abstraction, comme si ces images n'étaient pas assez détaillées pour fournir des descripteurs bas-niveau (couleurs, formes), ni assez subjectives pour susciter des émotions ou incarner des valeurs. Cette limitation peut être due au fait que les images trouvées sur le web sont souvent de petite taille, de faible résolution et de mauvaise qualité (prise de vue amateur).

La littérature montre déjà l'importance de la prise en compte des émotions dans le processus de conception (*kansei engineering*) [Mantelet, 2006] ou le processus informationnel en conception [Levy, 2005] ; avec notre expérimentation, nous montrons qu'il est nécessaire de prendre en compte la subjectivité des designers (*kansei*) pour le développement d'outils de recherche d'images.

4.4.5 Conclusion sur l'EXP 2

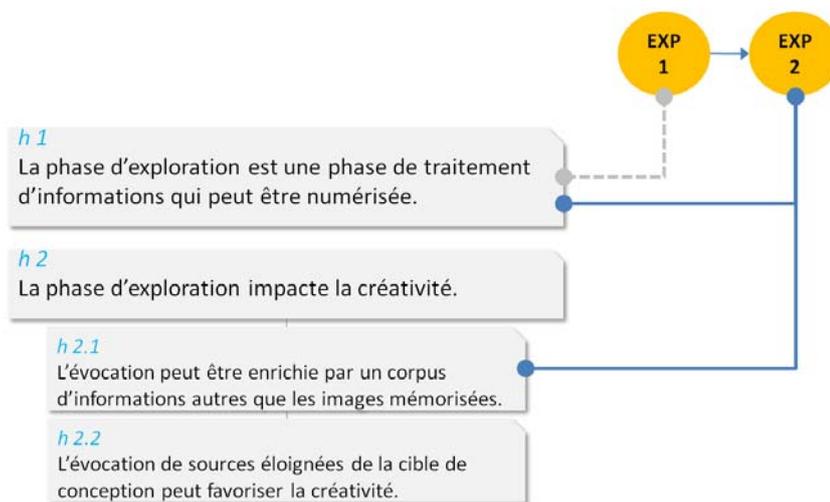
L'objectif de cette expérimentation était d'étudier plus finement que dans l'expérimentation 1 le processus d'exploration ; l'expérimentation 1 avait montré que l'exploration se base principalement sur la recherche d'images inspirationnelles, nous avons donc voulu voir quels types d'images étaient jugées inspirationnelles. Nous avons mis en place un protocole expérimental visant à impliquer quatre designers professionnels dans des tâches de recherches d'images (exploration libre et exploration contrainte par un brief design).

De cette expérimentation, on relève trois points importants :

- au contraire des outils traditionnels (magazines), les nouveaux outils numériques (moteurs de recherche d'images) ne répondent pas aux besoins des designers en terme de recherche d'images inspirationnelles ; en effet, ils ne permettent pas d'accéder à des images porteuses **d'émotions, d'atmosphères ou de valeurs**, comme le font les magazines et comme le cherchent les designers.
- les moteurs de recherche ne donnent pas facilement accès à des images que les designers ont l'intention de trouver en utilisant des mots-clés, spécialement lorsque les mots-clés reflètent des concepts abstraits. Les designers doivent adopter des **stratégies de contournement** peu 'user-friendly' pour obtenir des images satisfaisantes.

- il existe une grande **différence inter-individuelle** (et probablement aussi intra-individuelle, en fonction du temps) dans les stratégies de recherche d'images, en particulier concernant le niveau d'abstraction des images qui sont sélectionnées. Certains designers ne cherchaient que des atmosphères ou des émotions, tandis que d'autres étaient focalisées sur des descripteurs bas-niveau (forme, couleur...).

En somme, les résultats de notre expérimentation impliquent que, pour favoriser la créativité dans la phase d'exploration, les moteurs de recherche d'images doivent mieux prendre en compte le contenu des images qui sont fournies aux utilisateurs. Les moteurs doivent permettre d'accéder plus finement à un niveau d'abstraction du contenu de l'image défini par l'utilisateur, et en particulier d'accéder à des images à contenu subjectif (émotionnel) tel qu'on en trouve dans les magazines imprimés.



L'expérimentation 2 montre que l'optimisation de la phase d'exploration passe par la prise en compte de la subjectivité (*kansei*) des designers, en particulier dans le développement d'outils de recherche d'images inspirationnelles. L'hypothèse h2.1 est donc validée.

4.5 Structuration des bases images et lien avec la créativité (EXP.3)

4.5.1 Objectif de l'expérimentation 3

On a vu précédemment que les images utilisées par les designers dans la phase d'exploration peuvent être catégorisées en secteurs d'influence (architecture, aéronautique...) plus ou moins éloignés du secteur de conception (ici : automobile). L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer l'impact du type de secteurs des sources inspirationnelles sur la créativité des productions des designers.

Pour cela, nous proposons de structurer l'espace des ressources inspirationnelles en trois types de secteur (§ 4.5.2.1) et de réaliser un protocole de simulation de l'activité de conception dans lequel les designers utilisent des images inspirationnelles provenant de différents secteurs pour répondre à un brief design (§ 4.5.2.2) .

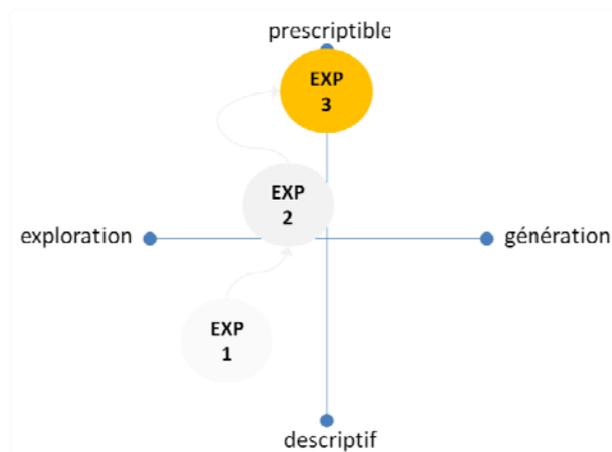


Figure 88 : La troisième expérimentation vise la transition de l'exploration à la génération ; les résultats sont prescriptibles.

4.5.2 Méthode : simulations de la phase de génération

4.5.2.1 Proposition d'une structuration de l'espace de ressources inspirationnelles

Le raisonnement par analogie est la mise en œuvre d'une cible et d'une source : une source retient l'attention du designer (évoquant) qui ensuite l'adapte à sa cible (adaptation) pour faire émerger une nouvelle idée. A l'origine, les références en psychologie proposent deux catégories de sources : la source fait partie du même domaine que la cible (*within-domain analogy* [Vosniadou & Ortony,

1989], *close associate* [Malaga, 2000]) ou elle n'en fait pas partie (*between-domain analogy* [Vosniadou & Ortony, 1989], *remote associate* [Malaga, 2000]). Dans un effort d'appliquer cette vision à la conception, des chercheurs en conception de produits ou en architecture proposent une catégorisation plus fine, en introduisant un degré de plus sur cette échelle d'éloignement entre la cible et la source. Par exemple, [Leclercq & Heylighen, 2002] et [Bonnardel & Marmèche, 2005] distinguent les catégories suivantes, respectivement: *direct link* / *indirect link* / *extra-contextual link* et *intra-domain* / *close inter-domain* / *far inter-domain*. Dans la définition de [Bonnardel & Marmèche, 2005], le classement des sources se décide sur la part de propriétés communes entre la source et la cible. Les résultats de EXP.1 montrent que les designers structurent spontanément leur environnement inspirationnel en **secteurs d'influence**, comme l'illustre la figure suivante.

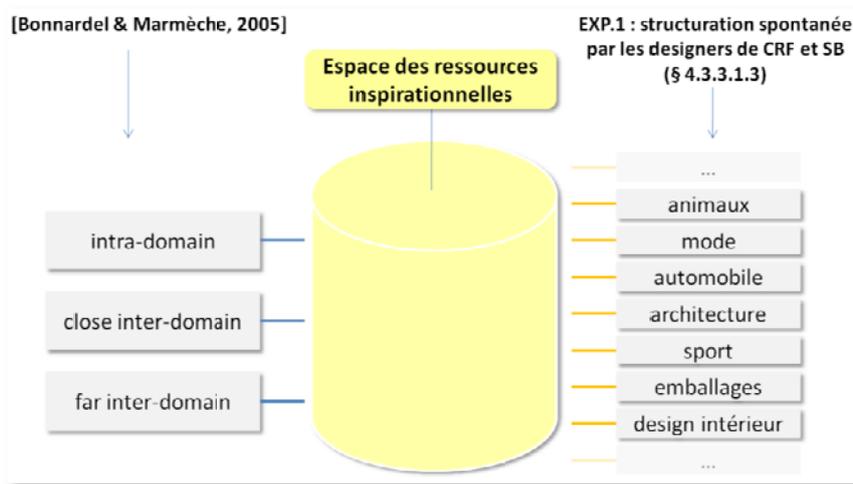


Figure 89: Structuration de l'espace de ressources inspirationnelles

En combinant la définition de Bonnardel & Marmèche et les résultats de notre EXP.1 sur la structuration citée spontanément par les designers, nous proposons une structuration des sources inspirationnelles adaptés aux pratiques des designers, constituée de trois catégories de secteurs d'influence, que nous proposons de nommer **reference sector**, **related sector** et **remote sector** qui contiennent les secteurs cités par les designers. Dans notre contexte d'application, le secteur cible (*reference sector*) est l'automobile. Les autres secteurs d'influence cités peuvent être catégorisés en se basant sur la fréquence de citation par les designers et sur la quantité d'éléments extraits par secteur (cf. tableaux en § 4.3.3.1.3) ; ainsi, un archétype de *related sector* est l'architecture, et de *remote sector* la mode.

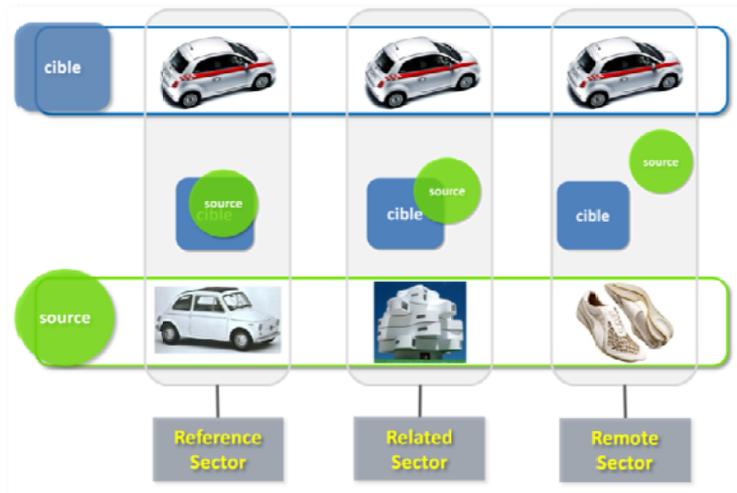


Figure 90: Proposition de structuration des sources d'inspiration par secteurs d'influence évoqués par les designers

En utilisant cette structuration de l'espace de ressources inspirationnelles, nous évaluerons l'impact créatif des différents secteurs que nous avons définis (*reference sector*, *related sector* et *remote sector*) sur la créativité de solutions-design, grâce au protocole décrit dans le paragraphe suivant.

4.5.2.2 *Protocole d'utilisation de ressources inspirationnelles pour la génération de solutions-design*

Pour pouvoir observer l'impact des ressources inspirationnelles sur les solutions-design, nous proposons un protocole expérimental qui simule un projet de conception, depuis la réception d'un brief design jusqu'à la formalisation d'une solution design. 14 designers professionnels de FIAT et de Stile Bertone participent à cet exercice de conception.

Ce protocole est un travail individuel (nous avons vu que chez FIAT et chez Bertone, les premières recherches créatives sont réalisées individuellement) réalisé en une trentaine de minutes, les participants répartissant leur temps comme ils le souhaitent entre la visualisation d'images et la production d'esquisses ; en contexte industriel, cette phase de recherches créatives dure en moyenne 5 jours.

Comme dans les projets industriels observés chez nos partenaires, un brief design est donné aux designers pour donner des contraintes au travail de recherche créative. Le brief présente les idées-clés qui doivent être incarnées par les solutions proposées, à travers des mots-clés décrivant le conducteur et le type de véhicule ciblés. Ici, le brief propose de concevoir un véhicule voyant et provocant, destiné à une clientèle jeune et urbaine.

Design Brief: "Look-at-me" Car	
CUSTOMER	THE CAR
Urban	Compact
New rich	Unique
Socialite	Provocative
International	Noticeable
Woman & Man	Unconventional
	Fun

Figure 91: Brief design fourni aux participants de l'EXP.3

Ce brief est différent du brief donné dans l'expérimentation précédente car les designers participants étaient les mêmes et nous souhaitons éviter un effet de répétition.

Après avoir lu le brief, les designers visualisent des images sur un écran d'ordinateur. L'utilisation d'un PC pour montrer les sources inspirationnelles a pour but de s'approcher au plus près d'une situation d'usage de sources web listées dans EXP.1 (§ 4.3.3.1.4) et de TRENDS, le logiciel développé dans notre projet d'application.

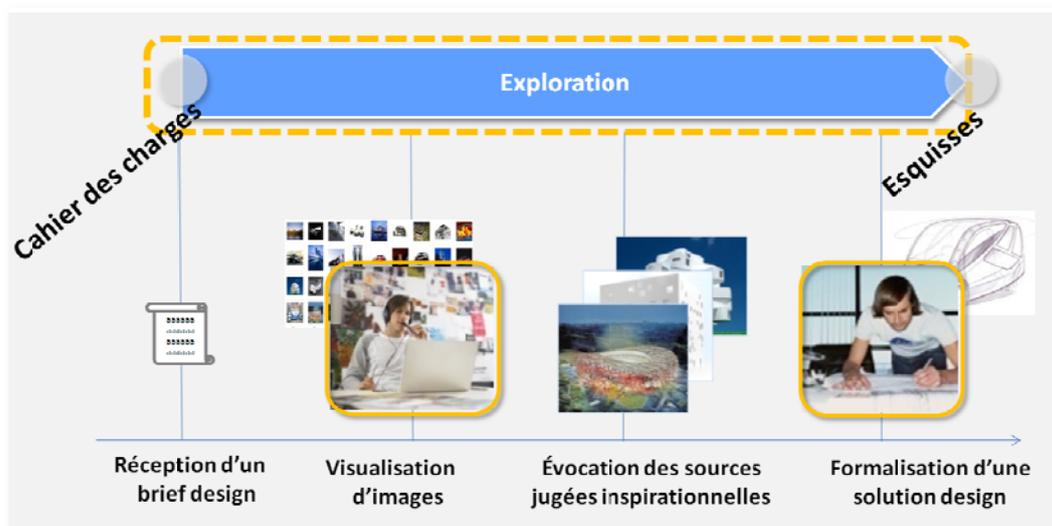


Figure 92: Déroulement du protocole expérimental de l'EXP.3

3 répertoires contenant 40 images chacun sont disponibles à la visualisation ; chaque répertoire contient des images qui proviennent soit du *reference sector*, soit d'un *related sector*, soit d'un *remote sector*, comme le montre le tableau suivant. Chaque paquet est également constitué d'images communes à tous les paquets, représentant le secteur de référence, ceci pour coller à la

pratique habituelle des designers qui consultent quotidiennement des sources sur le secteur automobile.

	groupe A	groupe B	groupe C
Brief design reçu	“look-at-me” car	“look-at-me” car	“look-at-me” car
Type d’images reçues	reference sector automobile	related sector architecture	remote sector mode
Nombre de participants	4	5	5

Tableau 21: EXP.3 - Nombre de participants par secteur d’inspiration

Les participants visualisent les images et désignent à voix haute les images qu’ils jugent inspirationnelles pour ce cas de conception. Ils réalisent ensuite une ou plusieurs esquisses qui représentent le brief donné en début de protocole.

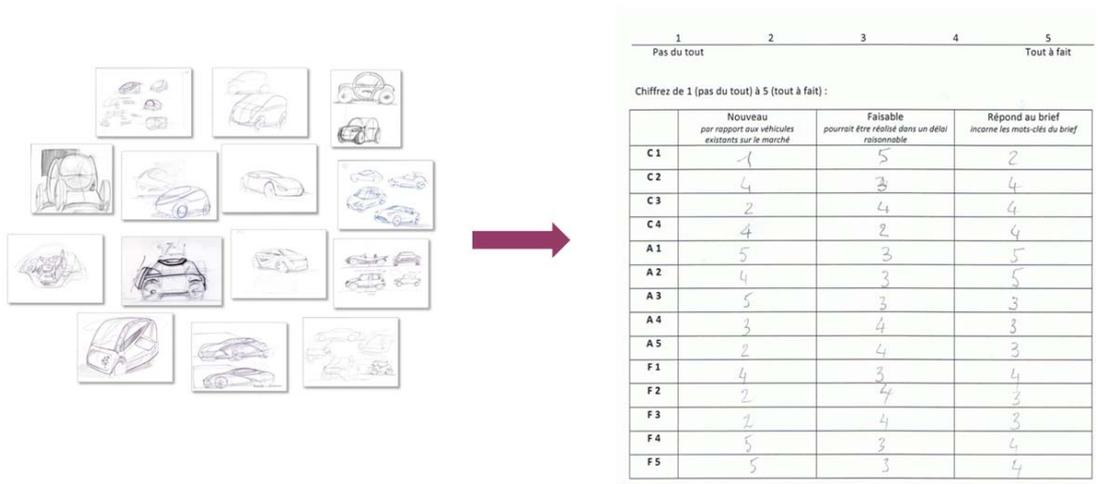


Figure 93 : Les 14 esquisses sont évaluées selon 3 critères (nouveau, faisabilité, adéquation au brief).

Les esquisses sont ensuite évaluées par 3 évaluateurs externes, experts en design automobile (membres de la cellule Innovation de PSA-Peugeot-Citroën). Comme nous l’avons expliqué en § 2.3.3, nous choisissons deux critères correspondant au consensus en cours (*nouveauté* et *faisabilité*) et un critère que nous jugeons nécessaire car adapté aux pratiques industrielles (*adéquation au brief*):

- la **nouveauté** : La solution proposée est-elle nouvelle par rapport aux véhicules existants sur le marché ?
- la **faisabilité** : La solution proposée pourrait-elle être réalisée dans un délai raisonnable ?
- l’**adéquation au brief design** : La solution proposée répond-t-elle au brief ?

Pour chacun des trois critères, l'évaluateur choisit une note sur une échelle de 1 (*pas du tout*) à 5 (*tout à fait*).

1	2	3	4	5
<i>Pas du tout</i>				<i>Tout à fait</i>

Les évaluations des esquisses sont ensuite analysées.

4.5.3 Résultats

4.5.3.1 Caractérisation des esquisses réalisées

La production d'esquisses observée est d'une esquisse par participant (cf. [annexe](#)), ce qui est suffisant pour permettre une évaluation de créativité.

Notre panel des participants étaient composé de designers auto « intérieur » et de designers auto « extérieur ». Suivant le type de profil de designer, on observe des propositions de solutions différentes, comme on le voit dans la figure ci-dessous. Cette expérimentation met en évidence la différenciation qui existe entre les deux profils du métier. Pour les besoins de l'expérimentation, les esquisses sont toutes évaluées selon les mêmes critères, qu'elles soient réalisées par un designer 'intérieur' ou par un designer 'extérieur' ; le panel de participants étant restreint (14 sujets), toutes les esquisses sont prises en compte pour l'évaluation.

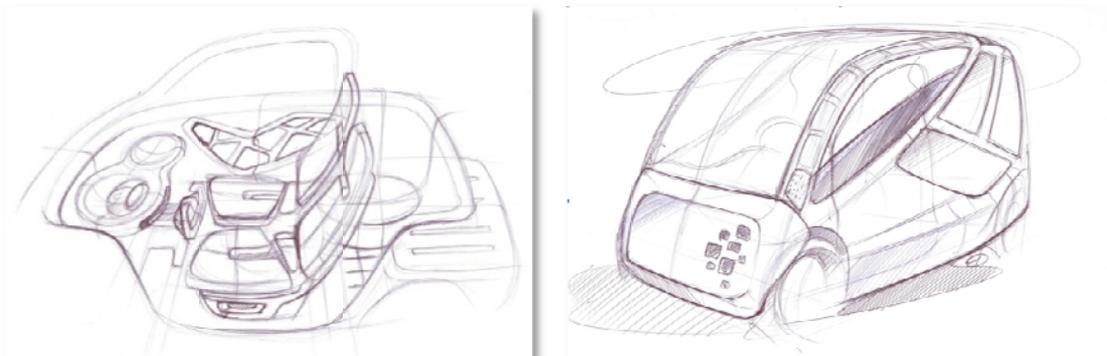


Figure 94 : Exemples de solutions-design, par un designer 'intérieur' (à gauche) et par un designer 'extérieur' (à droite)

4.5.3.2 Évaluation de la créativité des esquisses

Nous avons suivi une démarche d'évaluation subjective de la créativité. Les esquisses ont été évaluées par trois experts du design ; chacune des 14 esquisses étant évaluées sur les critères de nouveauté, de faisabilité et d'adéquation au brief. Les moyennes des évaluations ont été calculées pour donner une évaluation globale sur chaque critère au trois groupes d'esquisses : groupe A – référence (utilisant des images du secteur de référence), groupe B – related (utilisant des images d'un secteur proche), groupe C – remote (utilisant des images d'un secteur éloigné).

Les résultats pour chacun des trois critères, en fonction du secteur d'origine des images utilisées, sont représentés dans les figures ci-dessous.

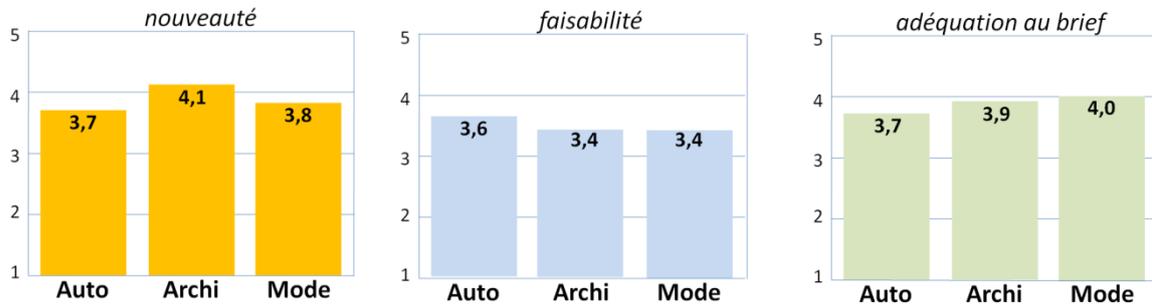


Figure 95 : Résultats des évaluations des esquisses en fonction du secteur d'origine des images inspirationnelles

Nous formulons l'hypothèse que plus les images inspirationnelles provenaient d'un secteur éloigné au secteur de référence, plus la créativité serait élevée. Cette hypothèse est en partie vérifiée puisque la meilleure évaluation sur le critère de nouveauté est donnée aux esquisses produites avec des images issues du secteur proche (related sector) dont l'évaluation (4,1) est meilleure que les esquisses produites avec des images du secteur de référence (3,7). En revanche, une partie de notre hypothèse est infirmée, puisque les esquisses produites avec des images issues d'un secteur éloigné (*remote sector*) obtiennent une évaluation inférieure (3,8) à celles produites avec des images du secteur proche (4,1). Il semblerait que les designers ont plus de difficultés à opérer un transfert depuis un secteur très éloigné du secteur cible. Cela dit, dans les deux cas (related sector et remote sector), l'évaluation de la nouveauté est supérieure au cas 'reference sector'.

Il est intéressant de noter, que dans une tendance inverse à l'évaluation de la nouveauté, la faisabilité est très forte pour les esquisses réalisées avec des images du secteur de référence : ceci peut s'expliquer par le fait que l'inspiration générée par la visualisation de produits existants du domaine de référence incite les designers à reproduire des éléments déjà existants et donc faisables.

Les designers auraient donc tendance à produire soit des solutions nouvelles soit des solutions faisables, l'un étant choisi au détriment de l'autre. L'optimisation du processus de conception devrait s'orienter vers un support à la génération de nouveauté et vers une assistance à l'intégration des contraintes de faisabilité. On voit que l'on met ici le doigt sur une problématique très forte en conception de gestion du compromis entre originalité et contraintes.

4.5.4 **Discussion et apports**

Dans cette expérimentation, le processus d'exploration est reproduit avec 14 designers professionnels, en intégrant la collecte d'informations visuelles *just-in-time* [Leclercq & Heylighen, 2002] et la génération de solution-design par des esquisses. Ainsi nous cherchons à simuler le phénomène de *seeing-drawing-seeing* [Schön, 1983] qui a lieu continuellement dans les activités des designers, pour mieux l'observer et en contrôler les paramètres d'influence sur la créativité. En soi, la conception et la mise en œuvre d'un tel protocole est une nouveauté par rapport aux expérimentations réalisées dans des études proches (cf. § 2.3.4) puisqu'elle couvre toutes les étapes de la phase d'exploration et qu'elle comporte une évaluation de la créativité des solutions. Cette méthodologie expérimentale est validée et peut être reproduite lorsqu'on cherchera à évaluer l'impact de tel ou tel facteur sur la créativité des designers.

Pour des raisons pratiques, nous avons dû réaliser ce protocole expérimental en un temps limité (30 minutes par participant) et avec un panel donné (les designers d'entreprises partenaires du projet). Nous avons donc observé des limites à cette démarche expérimentale : la limite de temps imposée aux designers pour la réalisation de ce protocole est trop artificielle et ne permet pas d'incubation qui peut avoir lieu dans les projets réels (cette tâche est en général réalisée sur plusieurs jours) ; il se peut donc que, dans ce contexte expérimental, la créativité soit limitée.

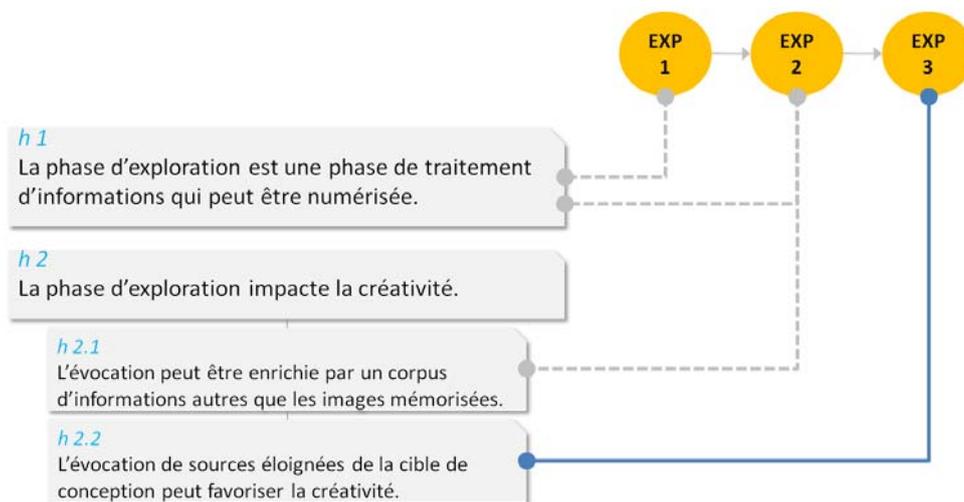
D'autre part, la spécialisation des designers auto (intérieur / extérieur) rend l'évaluation des esquisses difficile, puisqu'ils ne produisent pas tous des esquisses de même type ; nous avons essayé de réduire cette différence en répartissant les designers de manière équilibrée dans les trois groupes. Enfin, dans la limite de temps disponible, nous avons pu tester trois secteurs (auto, architecture et mode) ; il serait intéressant d'étendre l'étude sur un nombre de secteurs d'influence plus élevé.

4.5.5 **Conclusion sur l'EXP.3**

Dans cette troisième expérimentation, nous avons mis en place un protocole original de simulation du processus de conception, depuis la réception d'un brief design, jusqu'à la formalisation des premières représentations par des esquisses. L'originalité réside dans le fait qu'une évaluation de la créativité est réalisée sur les esquisses qui sont produites à l'issue du protocole par les designers. [Bonnardel & Marmèche, 2005] avait étudié le lien entre sources inspirationnelles et évocation des idées ; nous réalisons ici une étude proche et plus complète dont le spectre inclut l'étape de formalisation des premières solutions.

Dans ce protocole, le panel de 14 designers était divisé en 3 groupes, chaque groupe recevant un paquet de 40 images d'un secteur donné, **reference sector** (ici : auto), **related sector** (ici : architecture) ou **remote sector** (ici : mode). Ces images ont servi à stimuler la créativité des designers qui étaient invités à produire une esquisse répondant au brief design ; le niveau de créativité des esquisses était ensuite évalué par des experts externes.

L'analyse des évaluations des esquisses montrent que la **nature du secteur** dont les images inspirationnelles sont issues a un **impact sur la créativité** et que l'évocation de sources inspirationnelles éloignées améliore la créativité. Il faut ajouter une condition à cet effet : pour assister efficacement le transfert d'éléments design vers le secteur cible, les sources inspirationnelles ne doivent pas être trop éloignées du secteur cible (les sources d'un secteur proche aurait un impact plus fort sur la nouveauté que les sources d'un secteur éloigné).



L'expérimentation 3 a montré que l'évocation de sources inspirationnelles provenant d'un domaine différent de la cible, en particulier les sources inter-domaine proches, favorisent la créativité. Ce résultat peut être traduit en préconisation méthodologique à destination des designers et peut donner lieu à des spécifications pour le développement du logiciel TRENDS sur l'organisation de la base d'images en secteurs d'influence.

4.6 Synthèse des apports expérimentaux

4.6.1 Synthèse de la démarche expérimentale

Notre démarche repose sur trois expérimentations réalisées avec les designers des entreprises partenaires du projet TRENDS, FIAT et Bertone. Elle vise à étudier la phase d'exploration jusqu'au passage à la phase de génération, avec la production des premières représentations externes, et en particulier à décrire le rôles des images sur la créativité en design.

La première expérimentation repose sur des questionnaires et des entretiens ; elle a permis de dessiner le profil des pratiques adoptées et des ressources utilisées dans la phase d'exploration.

Les deuxième et troisième expérimentations consistent en la mise en œuvre de protocoles expérimentaux impliquant les designers dans des tâches d'exploration de ressources visuelles ; elles ont permis de caractériser plus finement le type d'images jugées inspirationnelles par les designers en terme de secteurs d'origine et de niveau d'abstraction du contenu et d'évaluer l'impact de l'éloignement des images inspirationnelles par rapport au brief sur la créativité des solutions.

	Protocole	Etapes du processus de conception concernées	
		Collecte et sélection d'images inspirationnelles	Génération de solutions par des esquisses
EXP.1	Questionnaires et entretiens sur la phase d'exploration	X Vue générale	
EXP.2	Protocole expérimental simulant l'exploration	X Vue détaillée	
EXP.3	Protocole expérimental simulant l'exploration	X	X

Tableau 22 : Protocoles mis en œuvre et étapes du processus de conception concernées par les expérimentations

Les résultats obtenus sont à la fois descriptifs et prescriptifs, combinaison qui nous intéresse particulièrement dans le cadre d'une recherche-action.

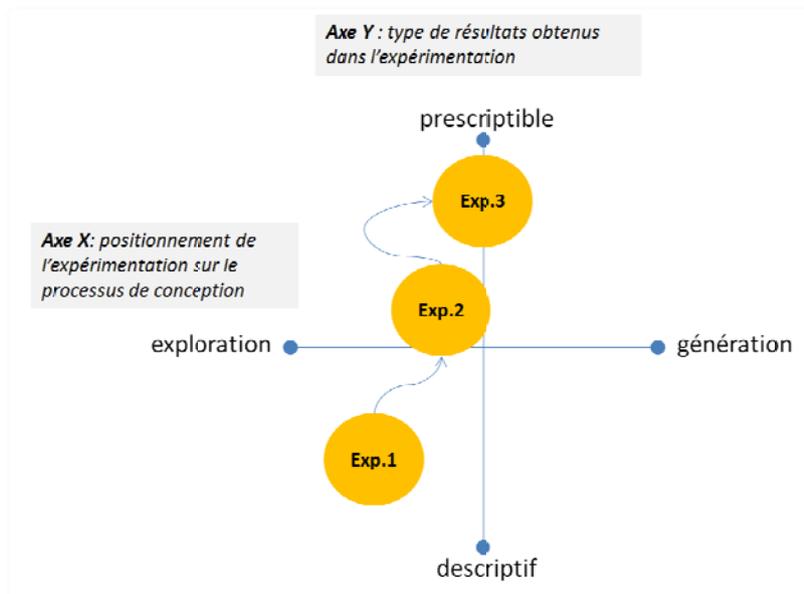


Figure 96 : Synthèse du cheminement expérimental

Dans les pages qui suivent, nous revenons sur chacune des expérimentations pour en rappeler les objectifs et les apports principaux.

4.6.1.1 EXP.1

La première expérimentation avait pour objectif de décrire les pratiques, les outils et les informations utilisés dans la phase d'exploration du processus de conception. Pour cela, des questionnaires ont été adressés à 32 personnes impliquées dans les phases amont de projet de design (design, innovation, marketing) et des entretiens ont permis d'approfondir les points évoqués dans les questionnaires. Cette expérimentation a permis d'identifier des pratiques récurrentes de veille continue sur l'information en design, de lister les médias utilisés par les designers (magazines et sites web) et d'identifier des secteurs d'influence dans lesquels les designers puisent leur inspiration.

Nous avons ainsi pu valider l'existence de secteurs d'influence et constater leur stabilité dans le temps (nombreux secteurs similaires à ceux relevés dans une étude précédente [Bouchard, 1997]). Cette expérimentation a également permis de décrire les pratiques en cours en terme de recherche d'informations et d'images et de décrire les besoins des designers en terme d'assistance à la recherche d'informations dans la phase d'exploration. Ces besoins ont été traduits en spécifications pour le développement du logiciel TRENDS.



Figure 97 : Synthèse des apports de l'expérimentation 1

4.6.1.2 **EXP.2**

Dans la deuxième expérimentation, nous avons cherché à approfondir notre connaissance de la phase d'exploration ; la première expérimentation a montré qu'aujourd'hui, la phase d'exploration repose sur la collecte d'images extraites de magazines imprimés, mais la tendance actuelle est à la numérisation ; nous avons donc voulu comparer l'utilisation des sources d'inspiration selon qu'elles proviennent de magazines imprimés ou de sites web et voir si les sites web permettent d'effectuer des requêtes images qui correspondent aussi bien que les magazines aux attentes des designers. Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental avec 4 designers de FIAT et Bertone : les designers étaient invités à explorer des ressources visuelles librement (magazines et sites web) et à en extraire des images qu'ils jugeaient inspirationnelles, ainsi qu'à expliquer en quoi l'image était inspirationnelle ; le protocole proposait ensuite de chercher des images, cette fois sous la contrainte d'un cahier des charges design pour s'approcher au plus près d'un scénario réel. Les résultats montrent que selon le type de medium utilisé, magazine imprimé ou site web, les designers ne retiennent pas le même type d'image inspirationnelle, en terme d'origine sectorielle et de niveau d'abstraction du contenu (couleurs/formes... vs. émotions/valeurs...).



Figure 98 : Synthèse des apports de l'expérimentation 2

4.6.1.3 EXP.3

La troisième expérimentation avait pour objectif d'évaluer l'effet de l'éloignement entre les sources d'inspiration et la cible de conception sur la créativité des solutions proposées par les designers. La mise en œuvre d'une telle expérimentation est en soi une nouveauté par rapport aux études présentées dans la littérature scientifique.

Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental impliquant 14 designers de FIAT et Bertone, et simulant la phase d'exploration depuis la réception d'un brief design jusqu'à la génération de représentations externes sous la forme d'esquisses, en passant par la visualisation et la sélection d'images jugées inspirationnelles. Le panel de designers était divisé en 3 groupes, chaque groupe ayant reçu un paquet de 40 images parmi les 3 paquets disponibles : *reference sector* (automobile), *related sector* (architecture) et *remote sector* (mode). Cette expérimentation montre que l'éloignement sectoriel entre images inspirationnelles et objectif de conception est favorable à la créativité des solutions design.

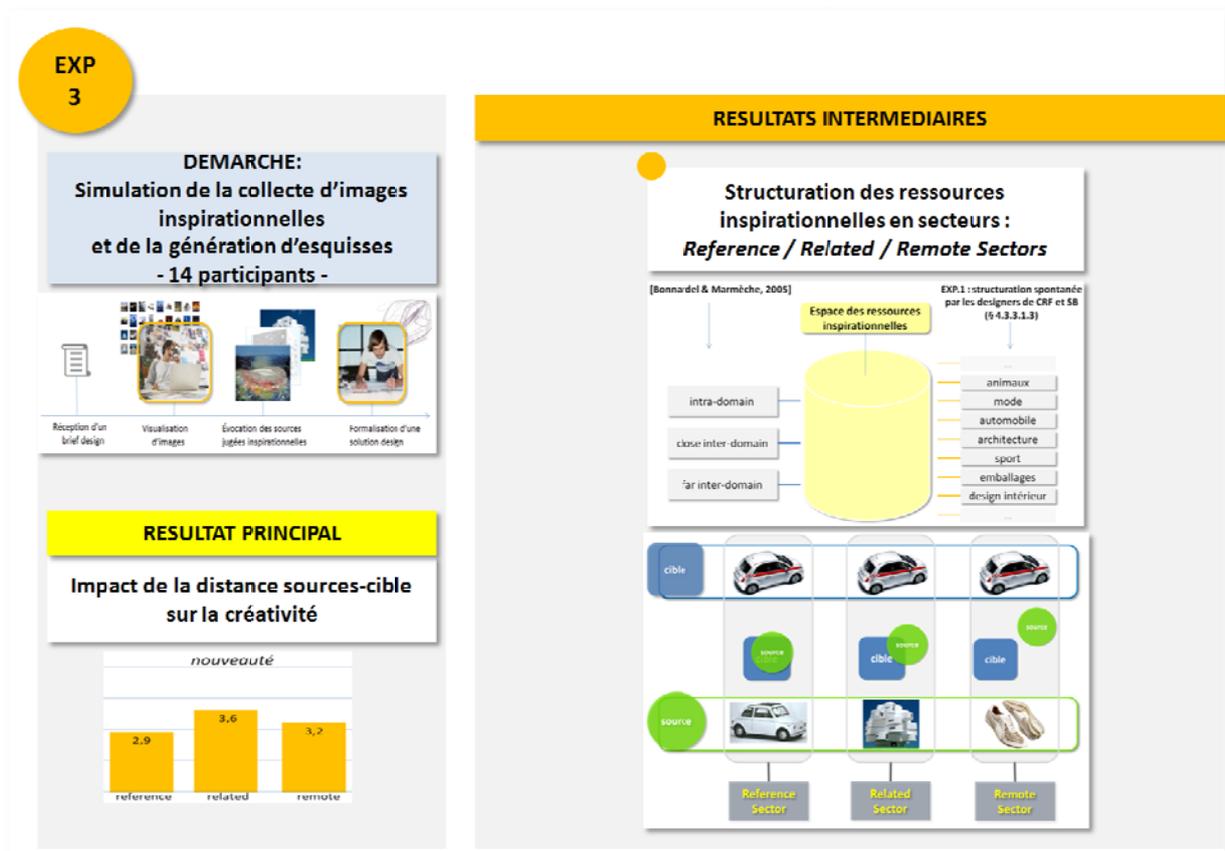


Figure 99 : Synthèse des apports de l'expérimentation 3

4.6.2 Validation des hypothèses

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette thèse se sont articulées autour du logiciel TRENDS et de son évaluation. La première expérimentation s'est fortement appuyée sur l'état-de-l'art au sujet de la phase d'exploration, la démarche de questionnaires et d'entretiens a été construite en s'inspirant des études existantes. Le protocole de l'expérimentation 2 a ensuite été construit en utilisant les connaissances produites par l'expérimentation 1, et le protocole de l'expérimentation 3 celles produites par l'expérimentation 2. Les expérimentations s'enchaînent donc les unes aux autres et viennent répondre aux hypothèses.

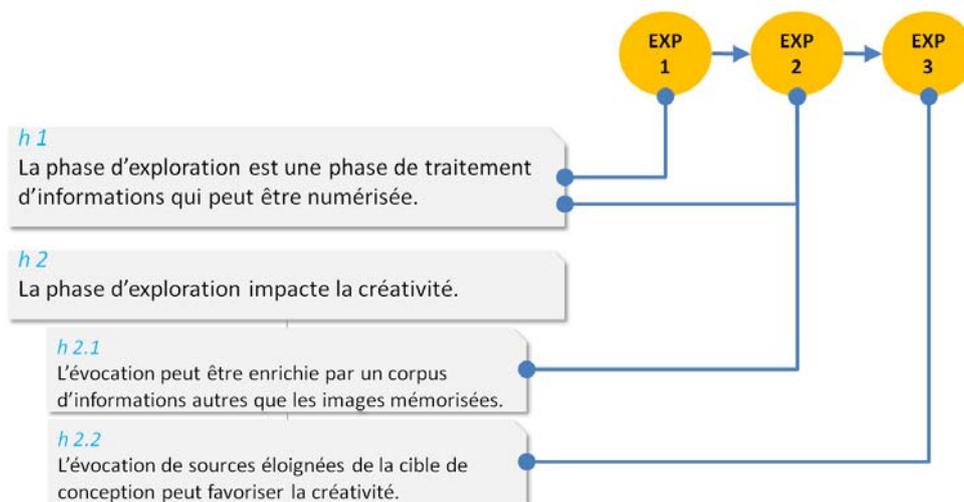


Figure 100 : Synthèse des liens entre hypothèses et expérimentations

Les expérimentations 1 et 2 ont montré que la phase d'exploration est une phase de traitement d'informations par les designers et que ces tâches consistent en la collecte, la sélection (sur des critères de niveaux d'abstraction et de secteurs d'origine) et la manipulation d'images, opérations qui peuvent être assistées par des outils numériques. Les expérimentations 2 et 3 ont montré que les images aident les designers dans le raisonnement par analogie et que l'accès à des sources inspirationnelles éloignées de l'objectif de conception permet d'aider à la créativité.

4.6.3 Discussion sur la démarche expérimentale

Notre démarche a réussi à combiner fructueusement une approche terrain, basée sur une connaissance des pratiques et des méthodologies de travail des designers, et une approche expérimentale, mettant en œuvre des simulations de scénarii de conception pour mieux les observer. Il en résulte un modèle générique de l'activité des designers dans la phase d'exploration du

processus de conception, modèle dont l'applicabilité sur le terrain a été validé par les tests du logiciel TRENDS avec la participation des designers.

Cette démarche pourrait apporter des résultats plus fins avec quelques modifications apportées aux protocoles expérimentaux : En laissant plus de temps aux designers pour la formalisation d'esquisses (EXP.3), on donnerait la possibilité d'une incubation des idées, phénomène nécessaire aux raisonnements créatifs. Dans la réalité industrielle, on a vu que les designers disposaient de plusieurs jours (entre 5 et 10 jours selon les projets) pour formaliser les premières idées ; or pour des raisons pratiques, lors de notre expérimentation, les designers n'ont disposé que de quelques minutes (30 minutes environs) pour réaliser un cycle d'exploration : visualisation d'images inspirationnelles et production d'une esquisse. Pour des expérimentations futures, nous recommandons donc, dans la mesure du possible, de laisser la possibilité aux designers de réaliser plusieurs cycles de visualisation d'images-génération d'esquisses avant de proposer une formalisation de leur solution. Les résultats s'approcheront ainsi encore plus des pratiques industrielles réelles.

D'autre part, il serait intéressant de vérifier que notre modèle s'applique à différents domaines de conception. Nous avons poursuivi l'objectif de construire un modèle le plus générique possible en nous appuyant sur un état-de-l'art prenant comme terrain d'étude tout type de domaine de conception (architecture, design produit, design d'interface...). Les designers impliqués dans nos expérimentations sont tous issus du milieu du design automobile et il serait pertinent de mener des expérimentations similaires avec des designers issus d'autres domaines. Les résultats permettraient d'identifier les spécificités (cognitives ? de représentations intermédiaires ?) d'autres domaines de conception.

En somme, nous avons proposé un modèle de la phase d'exploration du processus de conception qu'il serait possible d'affiner en prenant en compte les recommandations proposées ci-dessus.

5 .

**Modèle de l'activité des
designers dans la phase
d'exploration du processus de
conception**

5.1 Présentation du modèle

L'objectif global de notre recherche est la formalisation de la phase d'exploration du processus de conception de produits. Nous avons vu dans l'état-de-l'art que la phase d'exploration est aujourd'hui peu décrite, elle est encore souvent vue comme un phénomène mystérieux car elle repose sur l'activité cognitive (invisible) des designers et en particulier sur le raisonnement créatif par analogie. Dans un effort de formalisation de la phase d'exploration, nous proposons ici un modèle issu à la fois de l'état-de l'art, en particulier sur les aspects cognitifs de la créativité en conception, et de notre travail expérimental réalisé sur le terrain avec les designers des deux entreprises impliquées dans le projet TRENDS (FIAT et Bertone).

Dans ce modèle, nous avons représenté les étapes caractéristiques de l'activité individuelle des designers en fonction du **temps** suivant l'avancement dans le processus de conception (axe horizontal) ; dans la pratique industrielle, la phase d'exploration entre la réception du brief et les premières formalisations dure quelques jours (entre 5 et 10 jours selon les projets).

La moitié inférieure de la figure est **l'espace des représentations externes** dans lequel nous avons représenté **l'activité explicite** des designers ; dans l'espace des représentations externes, les traces tangibles principales sont les images utilisées comme support à l'évocation et les esquisses, comme formalisation des idées des designers. La moitié supérieure est **l'espace du raisonnement** dans lequel nous avons représenté **l'activité implicite** (cognitive) des designers ; cet espace est jalonné par la formation d'images mentales et la génération de concepts.

La phase d'exploration est constituée des grandes étapes suivantes : réception du brief, interprétation du brief, recherche d'images, raisonnement par analogie, production d'esquisses, interprétation des esquisses, formalisation d'une solution. Ces étapes peuvent se répéter plusieurs fois, le processus créatif étant basé sur des boucles de raisonnement par analogie et des répétitions du processus génération d'esquisses-interprétation d'esquisses : au cours d'un même projet, les designers sont amenés à collecter des images inspirationnelle à plusieurs reprises et de nombreuses esquisses sont générées avant d'aboutir à une proposition unique de réponse au brief. Le processus créatif entre la réception du brief design et les premières formalisations consiste en un dialogue entre le designer (processus cognitif) et les supports inspirationnels, les images que le designer visualise et les esquisses qu'il produit (représentations externes).

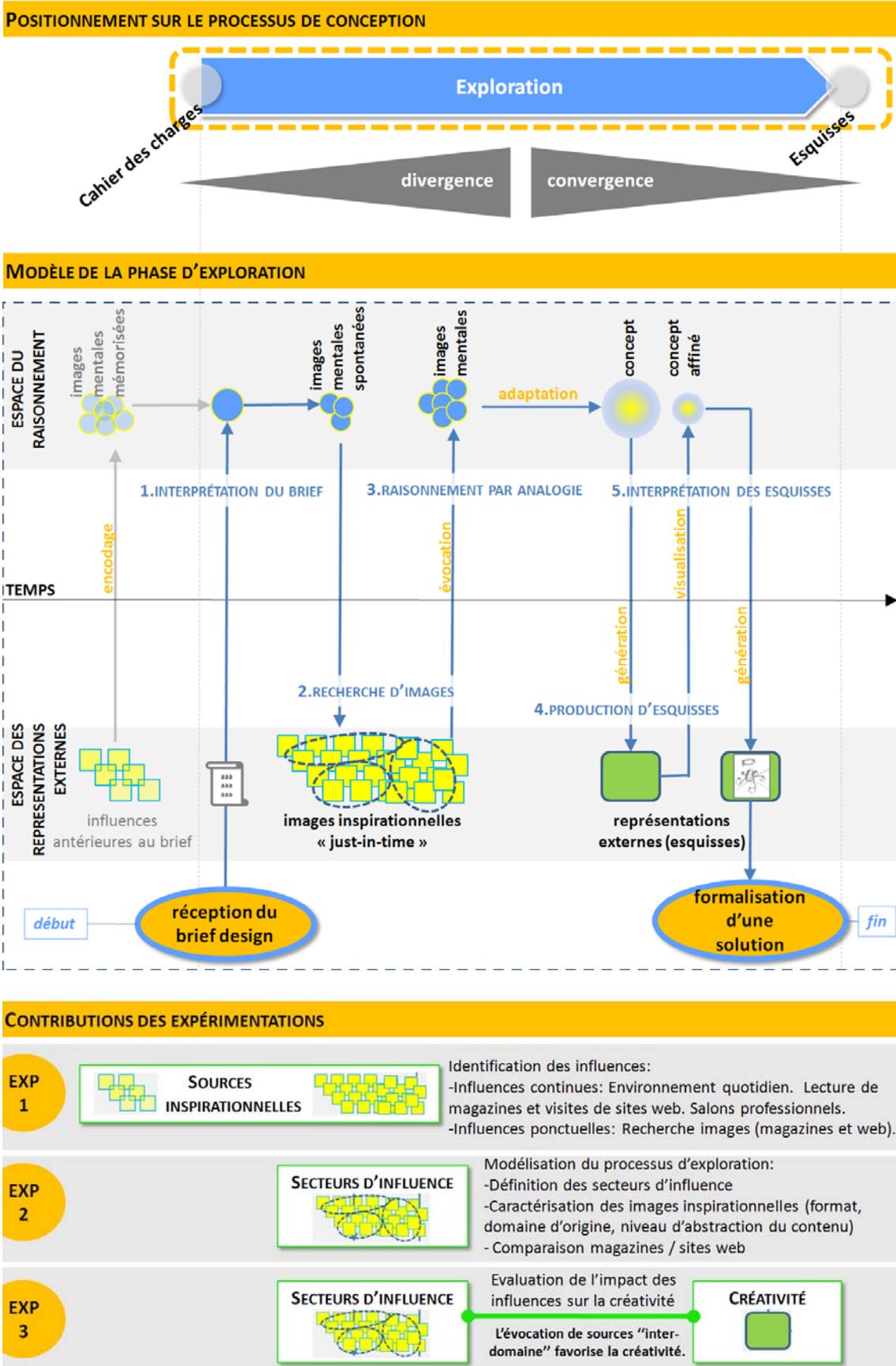


Figure 101 : Modèle de la phase d'exploration en conception de produits

On voit que ce modèle est construit en deux parties correspondant à la part visible (représentations externes) et la part invisible (raisonnement) de l'activité des designers, ces deux composantes étant fortement liées et dépendantes l'une de l'autre. La construction de ce modèle s'est basé sur des études antérieures à notre travail présentées dans l'état-de-l'art, en particulier pour modéliser la part cognitive invisible de l'activité de conception. La partie visible de l'activité de conception a été modélisée grâce à nos travaux expérimentaux : notre démarche visait principalement à identifier les ressources intervenant comme représentations externes du processus d'exploration et à évaluer l'impact de ces ressources sur le résultat final du processus d'exploration, les premières esquisses.

A travers des entretiens et des questionnaires avec les designers (EXP.1), nous avons identifié les influences reçues par les designers au lancement d'un projet créatif, c'est-à-dire avant et juste après la réception d'un brief. Les influences sont à deux niveaux : des influences continues qui consistent en des stimuli de l'environnement quotidien perçus involontairement et parfois inconsciemment, des influences ponctuelles dues à un travail de veille volontaire et conscient de la part des designers dans le cadre professionnel. Nous sommes focalisés sur cette part 'contrôlable' et observable de veille ponctuelle, dans la perspective d'une numérisation de ce processus : la veille en design consiste principalement en la recherche de ressources visuelles, d'images, traditionnellement dans des magazines à visée professionnelle, et plus récemment grâce à des sites web spécialisés. Dans EXP.2, nous avons vu que les images recherchées sont issues de domaines d'influence (automobile, architecture...), sur lesquels il y a un consensus des designers, et que les images recherchées et trouvées grâce à l'outil traditionnel (magazines) ne sont pas trouvables facilement avec les nouveaux outils numériques (sites web). En effet, les images recherchées contiennent des informations de haut-niveau d'abstraction (émotions, valeurs, atmosphères) soit des informations de bas-niveau (descripteurs design : couleurs, formes, textures), toutes deux essentielles au designer pour l'aider à construire de nouvelles représentations externes. D'autre part, nous avons évalué l'impact de différents domaines d'influence sur la créativité des solutions proposées par les designers (EXP.3) et il s'avère que la créativité est favorisée par des influences de ressources qui proviennent d'autres domaines que le domaine de référence, en particulier ce sont des domaines proches plutôt qu'éloignés du secteur de référence.

Ces résultats permettent de formaliser le processus d'exploration et de développer un outil numérique d'aide à l'exploration (TRENDS) ; le logiciel TRENDS est à la fois une mise en œuvre du modèle et une validation de ce modèle, car testé à différentes reprises avec les acteurs du processus d'exploration en conception de produits.

5.2 Mise en œuvre du modèle

5.2.1 Apport du modèle au développement d'un système d'aide à l'exploration

L'état-de-l'art nous avait permis d'établir une liste de caractéristiques à remplir pour un outil idéal d'aide à l'exploration. Ci-dessous, la figure a été complétée de manière à mettre en évidence ce que le projet TRENDS et notre modèle ont apporté au développement d'un tel système.

Ce système doit aider les designers à raisonner par analogie, raisonnement qui consiste en plusieurs opérations : la perception de sources (*encoding*), l'évocation de sources (*retrieval*) et l'adaptation de sources à une cible (*mapping*). Nous avons pris le parti de nous focaliser sur une aide à la perception et à l'évocation des sources inspirationnelles et dans le cadre du projet TRENDS, les développements ont visé à fournir un module « images » de **stockage** et de **requête**, assistant respectivement la phase *encoding* et la phase *retrieval* du raisonnement par analogie.

Les modules ont été développés grâce à une combinaison d'informations provenant de l'état-de-l'art et des expérimentations ; on voit dans le tableau ci-dessous comment le logiciel TRENDS répond aux besoins principaux des designers en terme d'aide au raisonnement par analogie.

Source	Besoins mis en évidence	Application à TRENDS
Etat-de-l'art + EXP.1 + EXP.2	Base contenant des images de tout type, pas seulement des photos d'artefacts ou de 'design precedents'	Base d'images TRENDS construite en collectant 2 millions d'images de tout type provenant de sites web, dont les sites cités par les designers
Etat-de-l'art + EXP.3	Base d'images structurée par domaines d'influence / par secteurs, en référence à la cible de conception	Les requêtes peuvent être lancées dans certains secteurs seulement que l'utilisateur aura choisis. La sélection de secteurs 'éloignés' doit permettre une meilleure créativité.
Etat-de-l'art + EXP.1 + EXP.2	Requête adaptées au langage visuel du design, pas uniquement basée sur l'utilisation de vocabulaire lexical	Les requêtes se font sur des mots-clés ou par similarité de contenu iconique. On peut affiner les résultats en cliquant sur les images qui correspondent à ce qu'on attendait.
Etat-de-l'art + EXP.1 + EXP.2	Requêtes sur des concepts abstraits, des émotions, des valeurs	Intégration d'un module de recherche basée <i>kansei</i> reposant sur des ontologies et combinant une analyse lexicale avancée et une analyse du contenu de l'image.

Tableau 23 : Points forts constituant des modules 'stockage' et 'requête' d'images dans le logiciel TRENDS

Si certaines des fonctions présentées ici ont pu être évoquées par d'autres chercheurs auparavant, le projet TRENDS permet pour la première fois de les faire fonctionner réellement en un outil unique et surtout de valider cet outil d'aide à l'exploration en terme d'adaptation aux besoins des utilisateurs finaux (tests des prototypes TRENDS avec les designers) et en terme d'aide à la créativité (expérimentations de la thèse).

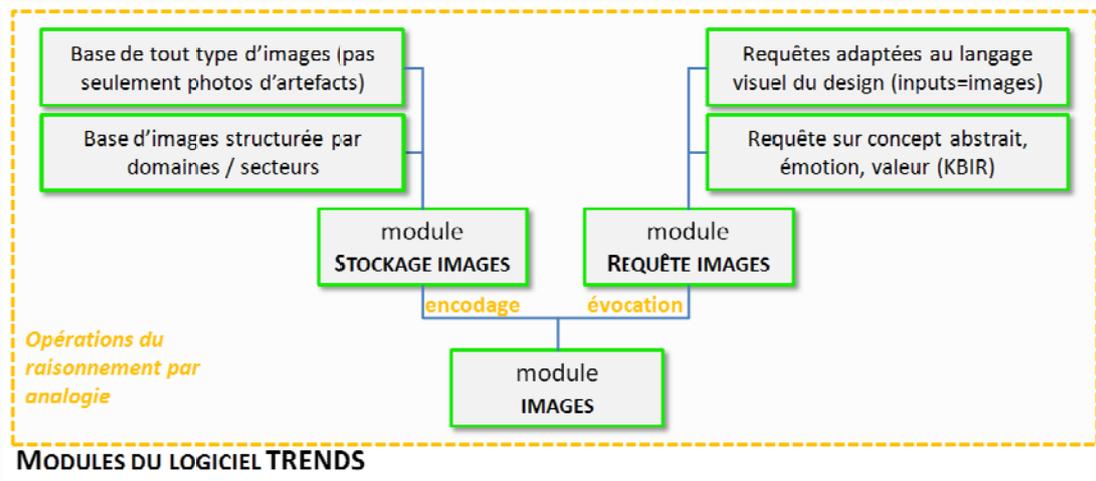


Figure 102 : Apport de cette recherche pour le développement d'un outil idéal d'aide à l'exploration en conception

Le logiciel TRENDS a donc permis de mettre en œuvre notre modèle (la figure ci-dessous montre par exemple la fonction de recherche d'images dans des secteurs choisis par l'utilisateur qui doit aider les designers à plus de créativité, comme montré dans EXP.3).

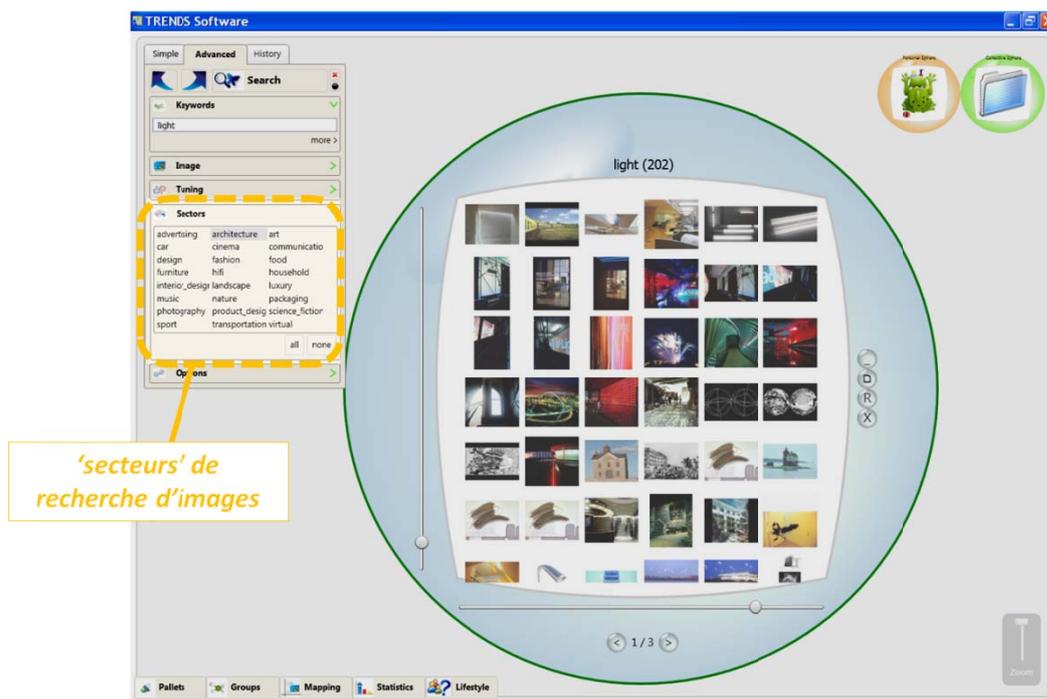


Figure 103 : Interface du logiciel TRENDS et module de recherche par secteurs

Le logiciel TRENDS a également permis la validation de notre modèle à travers une démarche itérative de tests/développement des prototypes. A l'échelle du projet (3 années), le prototype a été validé par les designers lors de tests ponctuels et, au moment où nous écrivons, le prototype final est en train d'être testé en contexte d'usage professionnel réel.

5.2.2 Apport du modèle à l'optimisation du processus de conception

Le contexte de recherche global de cette thèse est bien l'optimisation du processus de conception, ciblant tout particulièrement la phase d'exploration. Nous avons vu que notre démarche expérimentale progressait de résultats descriptifs à des résultats prescriptibles ; comme nous le montrons dans la figure ci-dessous, cette dynamique reflète également la progression depuis la caractérisation du processus d'exploration jusqu'à la numérisation (partielle) du processus de conception grâce à la formulation de spécifications de développement logiciel.

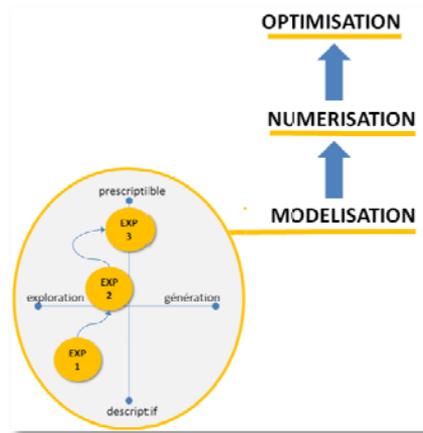


Figure 104 : Notre démarche s'intègre dans une problématique globale d'optimisation du processus de conception

Au sein du Laboratoire CPI, nous travaillons avec l'idée que la numérisation du processus de conception contribue à l'optimisation du processus de conception. Notre recherche s'intègre dans cette démarche globale, avec un focus particulier sur la phase amont d'exploration.

Conclusion générale et perspectives

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'un projet de recherche européen (TRENDS) portant sur la conception d'un logiciel d'aide aux phases amont du processus de conception, et plus spécifiquement de design industriel. Ce paragraphe de conclusion a pour but de synthétiser la démarche de la thèse et ses apports.

Notre recherche, positionnée en génie industriel, porte sur le sujet émergent de la modélisation des phases amont du processus de conception par l'observation de l'activité des designers. Nous partions du constat suivant : les outils numériques de conception permettent actuellement de gérer le cycle de vie d'un produit, de l'idée au produit : mais ces outils ne permettent pas d'assister la phase amont de genèse de l'idée, pourtant une phase cruciale pendant laquelle se décide à 90% le succès d'un produit. Cette recherche s'est donc focalisée sur la modélisation de la phase d'exploration du processus de conception, de la réception d'un cahier des charges jusqu'aux premières formalisations de représentations externes. Pour recouvrir l'intégralité du processus de conception, depuis le cahier des charges jusqu'au produit, et dans une perspective de gestion des connaissances exhaustive, nous avons mis en place une démarche expérimentale avec la participation de designers professionnels de FIAT et de Bertone. Grâce à des entretiens, des questionnaires et des mises en situation de cas de conception, la démarche expérimentale visait à décrire les activités de conception dans la phase amont et d'investiguer le rôle des images sur la créativité des designers.

Ainsi notre apport s'appuie d'abord sur la formalisation d'un **modèle de la phase d'exploration** montrant que cette phase consistent en des flux et des traitements d'informations par les designers (collecte d'images, par exemple) qui montrent que cette phase peut être numérisée, au moins en partie ; justement, ce modèle à servi à la construction d'une partie d'un logiciel du **logiciel TRENDS** destiné à assister les designers dans leur démarche individuelle de recherche d'images inspirationnelles.

Notre modèle décrit également l'impact des images utilisées dans un contexte de design ; nous avons montré que les outils traditionnels (magazines) et les outils numériques (internet) dans leur état actuel ne permettent pas aux designers de collecter le même type d'image. Ainsi, les designers ont tendance à chercher dans les magazines soit des images représentant des atmosphères, des émotions (haut niveau d'abstraction), soit des images comportant des descripteurs design tels que la couleur, la forme (bas niveau d'abstraction) ; on a vu qu'actuellement, les moteurs de recherche ne permettent pas d'accéder à facilement à ce type d'images, les designers doivent adopter des

stratégies de contournement. Notre modèle montre également que les images inspirationnelles peuvent être catégorisées en secteurs d'influence et que ces secteurs d'influence n'ont pas tous le même impact sur la créativité des solutions design qui sont produites en utilisant les images issues de ces secteurs. En particulier, on a vu que les images issues de secteurs autres que le secteur de référence (cible de conception) permettaient d'améliorer la créativité, la créativité optimale étant atteinte lorsque les images sont issues d'un secteur proche (et non d'un secteur éloigné).

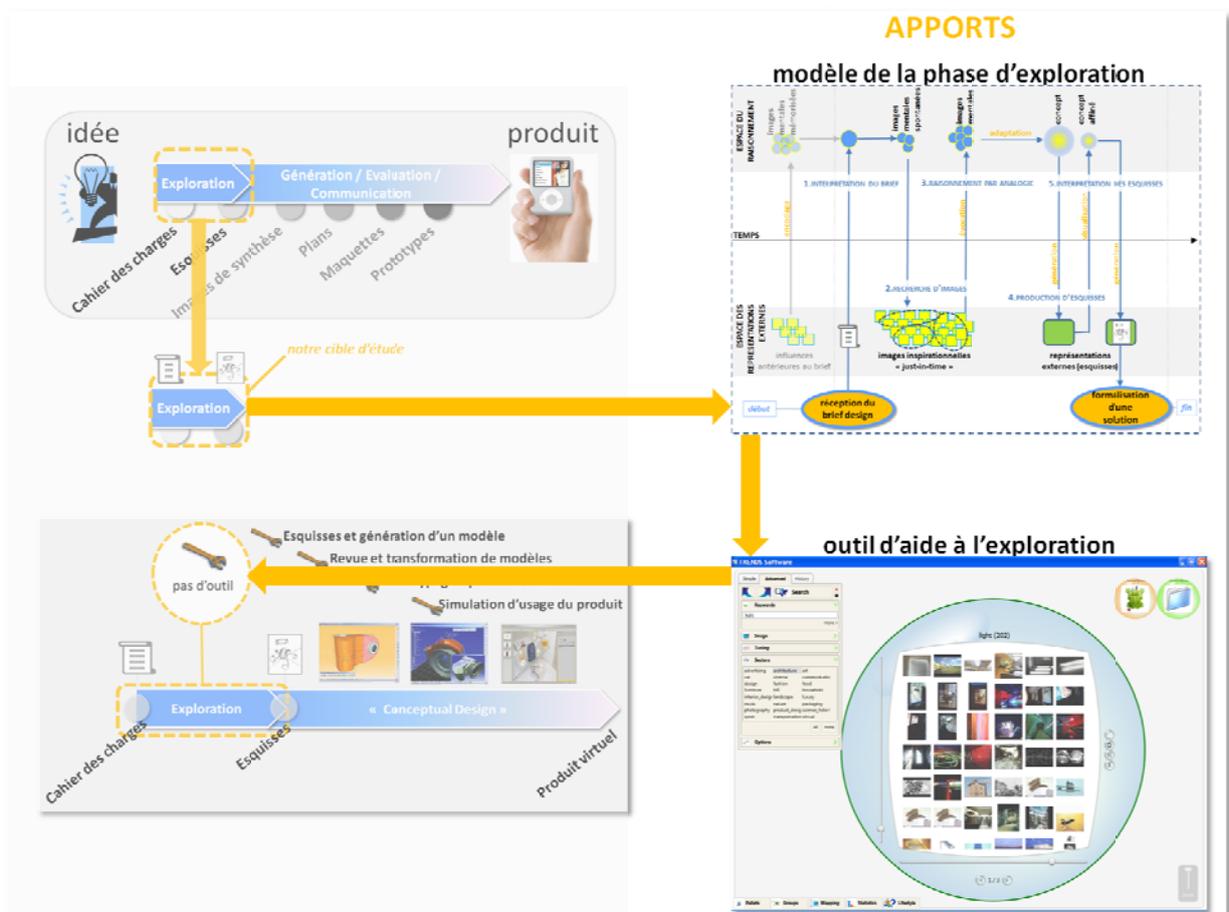


Figure 105 : Apports de la thèse : Modèle de la phase d'exploration et outil d'aide à l'exploration

Ces apports ont été traduits en spécifications pour le développement du logiciel TRENDS qui a été testé de manière itérative avec les designers. Ce logiciel est donc une première brique à laquelle il conviendrait d'ajouter d'autres outils afin de couvrir intégralement le processus de maturation d'une idée depuis le cahier des charges design jusqu'à une proposition de conception finalisée. Le développement et l'évaluation itérative de TRENDS tout au long du projet a permis une validation de notre modèle ; l'évaluation du système TRENDS, une fois industrialisé au sein des entreprises partenaires du projet, permettra une validation définitive de ce modèle.

Mais une aide à l'exploration nous paraît incomplète sans une aide au dialogue réflexif de visualisation-génération présenté par Schön qui implique que les designers puissent formaliser des représentations externes en même temps que raisonner ; il faut donc s'assurer que le module 'images' qui supporte le raisonnement par analogie dispose de passerelle transparente pour l'utilisateur vers un module 'esquisses' (ou plus généralement un module 'représentation'). Aujourd'hui, nous proposons dans TRENDS un espace de dessin, on pourrait tout à fait imaginer des connections avec les outils d'esquisses existants du type Adobe Illustrator, voire Adobe Photoshop. Dans le schéma ci-dessous, nous laissons visibles les modules 'diagnostic' et 'assistance' proposés par [Bonnardel & Marmèche, 2005], nous semblent être des pistes intéressantes à explorer pour améliorer notre outil, dans la perspective de développement d'un outil d'aide à la décision.

Enfin, pour qu'un outil d'aide à la conception soit déployable, il est nécessaire de s'assurer que cet outil fonctionne harmonieusement avec les outils déjà intégrés dans les pratiques industrielles ; un outil d'aide à l'exploration doit donc s'intégrer en douceur dans la chaîne numérique de conception et permettre, par exemple, le transfert de fichiers vers d'autres outils de phases plus aval (CAO...). Ce dernier point n'est pas un impératif dans le cadre d'un projet exploratoire de recherche mais il l'est dès lors qu'on envisage l'industrialisation et le déploiement d'un logiciel d'aide à la conception.

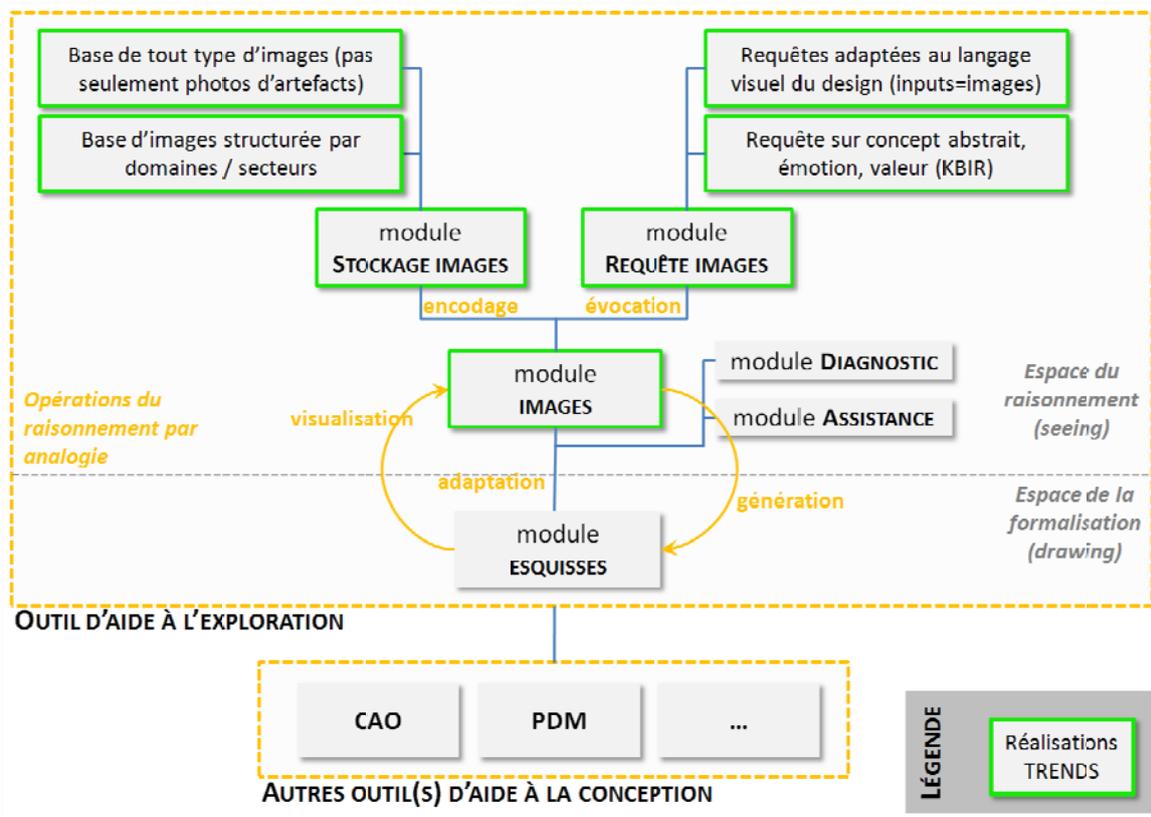


Figure 106 : Perspectives de développement d'un outil d'aide à l'exploration

Outre des perspectives centrées sur une aide à l'exploration, il existe d'autres pistes de poursuite et d'approfondissement d'une telle recherche, qui peuvent intéresser à la fois la communauté du génie industriel, celle des sciences cognitives et celle de l'informatique / intelligence artificielle. Quelques-unes de ces perspectives sont représentées sur le schéma ci-dessous qui nous avait auparavant permis de définir le périmètre de la thèse et décrites dans le paragraphe qui suit.

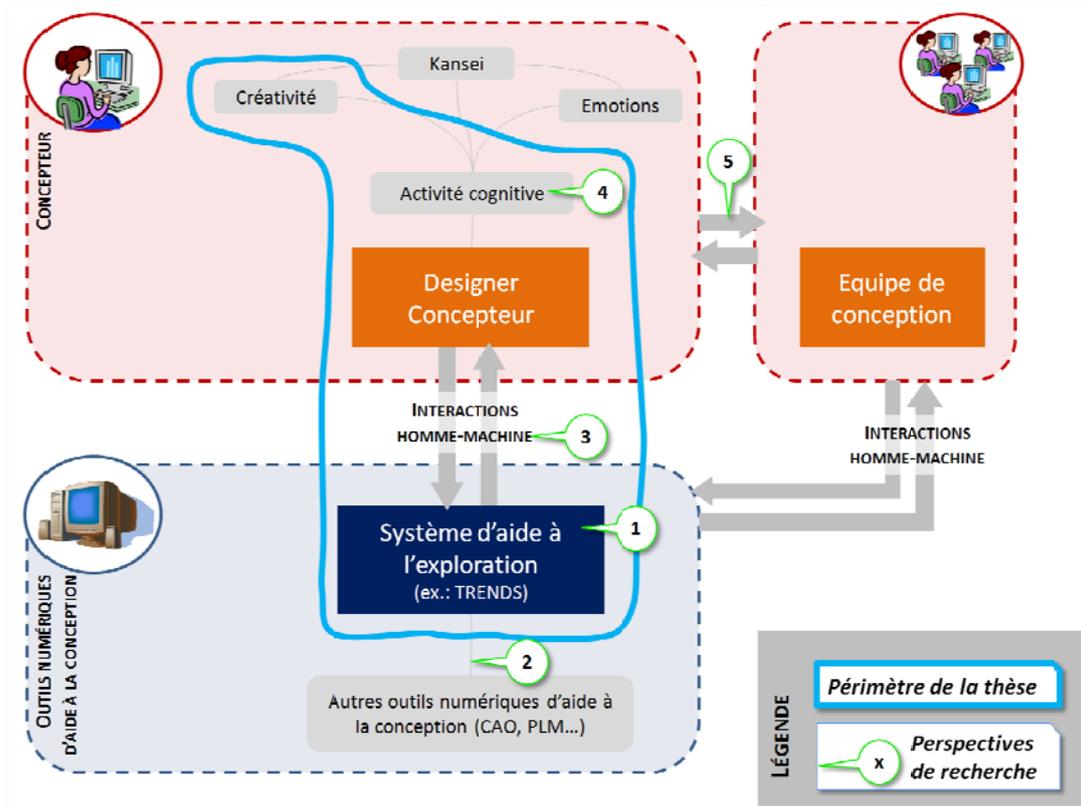


Figure 107: Périmètre de la thèse et positionnement des perspectives de recherche

1 Recherche d'images adaptative et personnalisable

Dans la perspective d'améliorer un outil comme le logiciel TRENDS, on peut imaginer un moteur de recherche d'images qui comprendrait l'intention de l'utilisateur et adapterait les résultats de requête à cette intention. Cette piste s'inscrit dans le mouvement de recherche en *kansei-based image retrieval*, type de recherche d'images d'une pertinence particulière dans le cadre du développement d'outils logiciels destinés aux designers (requêtes adaptés au langage visuel et à différents niveaux d'abstraction de l'image perçus). Toujours avec un point de vue « intelligence artificielle », et en cohérence avec la personnalisation grandissante des interfaces, il serait intéressant d'explorer la piste de l'adaptation d'un outil comme TRENDS aux différentes stratégies de recherche d'images des designers ; la recherche d'images se ferait 'intelligente' et s'adapterait au mode d'exploration des

designers. Des études ont montré que les humains adoptent différentes stratégies de navigation dans le monde physique selon leurs attentes, leurs modes de mémorisation... Dans les expositions, [Veron & Levasseur, 1991] ont catégorisé les visiteurs en fourmi / papillon / sauterelle / poisson; dans le métro parisien, [Floch, 2002] a observé différents types d'utilisateurs : arpenteurs / somnambules / flâneurs / professionnels. De même, les stratégies de recherche d'image par les designers dépendaient de leurs intentions, de leurs connaissances tacites, des contraintes de conception... Une typologie des modes de recherche d'images permettrait de concevoir un système de recherche d'images adaptatif et personnalisé.

2 **Passerelle avec les phases aval de la conception**

Dans l'optique d'un usage en contexte industriel, les logiciels d'aide à la conception doivent disposer de passerelles avec les autres outils d'aides à la conception déjà utilisés par les designers et les concepteurs. Ainsi les représentations externes produites grâce à des logiciels d'aide à l'exploration (ex : TRENDS) doivent pouvoir être utilisables dans d'autres outils (ex : CAO). C'est ainsi que le projet GENIUS (www.genius-anr.org), de mars 2008 à mars 2011, coordonné par le LCPI, vise à concevoir un logiciel d'aide aux designers pour la catégorisation d'images inspirationnelles et la génération de nouvelles solutions formelles. Ce type de recherche assurera la continuité du processus de conception dans la pratique quotidienne de chaque acteur de la conception ; il est nécessaire pour assurer la fluidité du processus entre les différents acteurs (designers, modeleurs, ingénieurs...), métiers (style, plasturgie, électronique...) et étapes de la conception (exploration/génération...).

3 **Interactions homme-machine innovantes grâce à la réalité virtuelle**

Dans un souci permanent de prendre en compte les utilisateurs, les développements d'interfaces intègrent des nouveaux modes d'interaction entre l'utilisateur et le système, grâce à la réalité virtuelle. Comme le défend [Pasman, 2003], les systèmes d'aide à la conception doivent prendre en compte l'aspect physique de l'action de concevoir (« support motor skills ») :

Designing is not just a cognitive process, it is a bodily experience as well. [...] The organizing of visual materials, such as in collage making, also brings with it various physical actions such as tearing, cutting, shoving etc. Somehow the interface of the database should reflect the freedom and space these actions acquire in its design, e.g. by presenting a sufficient surface for arranging of presenting the images.

Le développement d'outil d'aide à la conception pourrait donc bénéficier d'un rapprochement avec les dernières avancées des recherches sur les interactions : **interfaces tangibles** [Picard, 1997] [Ishii et al., 2004] et 'Tangible Media Lab / MIT Media Lab' au MIT, **esthétique de l'interaction** [Hummels, 2007] et 'Designing Quality in Interaction Group' à la TU Eindhoven, par exemple. L'utilisation de

équipement innovants, tels que les tables interactives [Buisine et al., 2007], par les designers peuvent influencer le processus de conception de produits.

Caractérisation affinée de l'activité cognitive des designers

La plupart des études liant émotions et conception ciblent particulièrement les émotions suscitées par le produit et ressenties par les utilisateurs (*kansei engineering*, design émotionnel) ; mais nous faisons l'hypothèse que les émotions des concepteurs jouent également un rôle important et impactent le processus de conception de produits. La modélisation fine de la phase d'exploration du processus de conception nécessiterait une investigation avancée dans le champ des sciences cognitives. Avec les méthodes et les outils des sciences cognitives, il serait intéressant d'étudier la mise en œuvre des émotions des concepteurs dans le processus de conception de produits (leur lien avec la créativité, par exemple).

Modélisation de la créativité collective en conception

Les activités de conception sont aujourd'hui souvent réalisées en équipe et prennent place dans un environnement mondialisé. Il est donc impératif de se pencher sur la question de la créativité collective en conception. On remarque un intérêt grandissant sur cette tendance forte avec des travaux sur le rôle des équipes et des interactions dans l'équipe sur le processus de conception de produits. On peut entre autres citer les travaux de [Badke-Schaub], [Fisher], [Gero] et [Visser].

Ces perspectives convergent en fait vers une préoccupation globale d'intégration toujours plus amont dans le processus de conception, des contraintes et des créativités relatives à l'aspect du produit, aux besoins des utilisateurs et aux impératifs éthiques et écologiques. Tous ces aspects du produit industriel doivent être intégrés au plus tôt dans un projet de conception, avec une approche relevant de la systémique et s'appuyant sur la créativité des concepteurs.

Références bibliographiques

- Ahmed S. (2005). Encouraging reuse of design knowledge: a method to index knowledge. *Design Studies* **26**(6): 565-592.
- Amabile T. (1983). *The Social Psychology of Creativity*, Springer Verlag. NY.
- Anolli L., Antonietti A., Crisafulli L. and Cantoia M. (2001). Accessing source information in analogical problem-solving. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* **54A**(1): 237-261.
- Ansburg P. I. and Hill K. (2003). Creative and analytic thinkers differ in their use of attentional resources. *Personality and Individual Differences* **34**(7): 1141-1152.
- Aoussat A. (1990) La pertinence en innovation: nécessité d'une approche plurielle. Thèse de doctorat ENSAM (Génie industriel)
- Athavankar U. A. (1997). Mental imagery as a design tool. *Cybernetics & Systems* **28**(1): 25-42.
- Ball L. J., Evans J. S. B. T., Dennis I. and Ormerod T. C. (1997). Problem-solving Strategies and Expertise in Engineering Design. *Thinking and Reasoning* **3**(4): 247-270.
- Ball L. J., Lambell N. J., Ormerod T. C., Slavin S. and Mariani J. A. (2001). Representing design rationale to support innovative design reuse: a minimalist approach. *Automation in Construction* **10**(6): 663-674.
- Ball L. J., Ormerod T. C. and Morley N. J. (2004). Spontaneous analogising in engineering design: a comparative analysis of experts and novices. *Design Studies* **25**(5): 495-508.
- Bernard A., Fisher A. (2002) New trends in rapid product development. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* **51**(2): 635-652
- Bilda Z., Gero J.S., Purcell T. (2006) To sketch or not to sketch? That is the question. *Design Studies* **27**(5): 587-613
- 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
- Bisseret A., Sebillotte S., Falzon P. (1999) *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes*. Octares Editions.
- Blanchette I. and Dunbar K. (2000). How analogies are generated: The roles of structural and superficial similarity. *Memory and Cognition* **28**(1): 108-124.
- Boden M. A. (1998). Creativity and artificial intelligence. *Artificial Intelligence* **103**(1-2): 347-356.
- Bonnardel N. (2000). Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. *Knowledge-Based Systems* **13**(7-8): 505-513.
- Bonnardel N. (2006). *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*, Solal Editions (Marseille).
- Bonnardel N. and Marmèche E. (2005). Towards supporting evocation processes in creative design: A cognitive approach. *Int. J. Human-Computer Studies* **63**(4-5): 422-435.
- Bouchard C. (1997). *Modélisation du processus de design automobile. Méthode de veille stylistique adaptée au design du composant d'aspect*. Thèse de doctorat (Génie industriel). France, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers: 235 pages.
- Bouchard C., Lim D., Aoussat A. (2003). Development of a Kansei Engineering System for Industrial design: Identification of input data for KES. *ADC Asian Design Conference*, Tsukuba, Japan.
- Bouchard C., Omhover J.F., Mougnot C., Aoussat A., Westerman S.J. (2008) *TRENDS: A Content-based Information Retrieval System for Designers*. DCC'08 , 3rd Conference on Design Computing and Cognition, Atlanta, June 21-23, 2008. Ed.: J.S. Gero and A. Goel, pp 593-611. Springer.
- Bruseberg A. and McDonagh-Philp D. (2001). New product development by eliciting user experience and aspirations. *Int. J. Human-Computer Studies* **55**(4): 435-452.
- Bruseberg A. and McDonagh-Philp D. (2002). Focus groups to support the industrial/product designer: a review based on current literature and designers' feedback. *Applied Ergonomics* **33**(1): 27-38.

- Buisine S., Besacier G., Najm M., Aoussat A. and Vernier F. (2007). Computer-supported creativity: Evaluation of a tabletop mind-map application. HCLII'07, Beijing, July 2007. Lecture Notes in Computer Science, Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Springer
- Burleson W. (2005). Developing creativity, motivation, and self-actualization with learning systems. *Int. J. Human-Computer Studies* **63**(4-5): 436-451.
- Burnette C. H. (2006). A theory of modal thinking in design. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Cai H., DO E.Y.L. (2007) The Dual Effects of Inspiration Sources in Creative Design. An empirical study of designers' use of analogy in design. IASDR'07, the 2007 Conference of the International Association of Societies of Design Research, Hong Kong Polytechnic University, Hong-Kong.
- Candy L. (1998). Representations of strategic knowledge in design. *Knowledge-Based Systems* **11**(7-8): 379-390.
- Candy L. and Edmonds E. (1996). Creative design of the Lotus bicycle: implications for knowledge support systems research. *Design Studies* **17**(1): 71-90.
- Casakin H. and Goldschmidt G. (1999). Expertise and the use of visual analogy: implications for design education. *Design Studies* **20**(2): 153-175.
- Casakin H. and Kreidler S. (2006). Evaluating creativity in design problem solving. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Chang T.-W. and Lai I.-C. (2005). A Design Tool for Supporting Idea Association at Small Design Offices. IDC International Design Conference, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan.
- Cheung P.-K., Chau P. Y. K. and Au A. K. K. (2007). Does knowledge reuse make a creative person more creative? *Decision Support Systems*.
- Chiang Y.-C. (2006). The role of design Eureka in design thinking. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Christensen T. (2006). An assessment of the effect of an ethnographic observation exercise on the creativity of the student design solutions. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Christiaans H. (1992) Creativity in design: the role of domain knowledge in designing. Ph.D. Thesis (Industrial Design). The Netherlands, TU Delft
- Christiaans H. and Restrepo J. (2001). Information Processing in Design: a theoretical and empirical perspective. *Design Research in the Netherlands*, H. Achten, B. de Vries, & J. Hennessey. TU Eindhoven: pp 63-73.
- Christiaans H. and Venselaar K. (2005). Creativity in Design Engineering and the Role of Knowledge: Modelling the Expert. *Int. J. of Technology and Design Education* **15**: 217-236.
- Chuang Y. and Chen L.-L. (2006). Integrated approach to develop an extensible Kansei engineering information system. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Clibbon K. and Edmonds E. (1996). Representing Strategic Design Knowledge. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **9**(4): 349-357.
- Costa A. I. A., Schoolmeester D., Dekker M. and Jongen W. M. F. (2003). Exploring the use of consumer collages in product design. *Trends in Food Science & Technology* **14**(1-2): 17-31.
- Cowdroy R., Ostwald M. and Williams A. (2006). A new look at design thinking: Research in progress. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Cross N. (1997). Descriptive models of creative design: application to an example. *Design Studies*, **18**(4): 427-440.
- Cross N. (2000) *Engineering design methods strategies for product design*. Wiley, Chichester
- Cross N. (2002). *Creative cognition in design: Processes of exceptional designers*. C&C'02 Creativity and Cognition, Loughborough, UK.
- 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.
- Cross N. and Clayburn Cross A. (1996). Winning by design: the methods of Gordon Murray, racing car designer. *Design Studies* **17**(1): 91-107.
- Csikszentmihalyi M. (1990). *Flow, the Psychology of Optimal Experience*, Harper & Row, NY.

- Design Fax (27.05.2008) Design Fax : Le service économique hebdomadaire du design. Dir. De la publication : Jean-Charles Gaté
- Do E.Y., Gross M., Neiman B. and Zimring C. (2000) Intentions in and relations among design drawings. *Design Studies* **21**(5): 483–503
- Dong A. (2006a). Concept formation as knowledge accumulation: A computational linguistics study. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* **20**: 35-53.
- Dong A. (2006b). The enactment of design through language. *Design Studies* **18**(1): 5-21.
- Dong A. and Agogino A. M. (1996). Text analysis for constructing design representations. *Artificial Intelligence in Engineering* **11**(2): 65-75.
- Dorst K. and Cross N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. *Design Studies* **22**(5): 425-437.
- 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.
- Eckert C. and Stacey M. (2000). Sources of inspiration: a language of design. *Design Studies* **21**(5): 523-538.
- Edmonds E. A., Weakleya A., Candy L., Fellb M., Knott R. and Pauletto S. (2005). The studio as laboratory: Combining creative practice and digital technology research. *Int. J. Human-Computer Studies* **63**(4-5): 452-481.
- Eisentraut R. (1999). Styles of problem solving and their influence on the design process. *Design Studies* **20**(5): 431-437.
- Eisentraut R. and Guenther J. (1997). Individual styles of problem solving and their relation to representations in the design process. *Design Studies* **18**(4): 369-383.
- Fisher T. (1997). The Designer's Self-Identity: Myths of Creativity and the Management of Teams. *Creativity and Innovation Management* **6**(1): 10-18.
- Floch J.M. (2002) *Sémiotique, marketing et communication : Sous les signes, les stratégies*. P.U.F.
- Fricke G. (1999). Successful approaches in dealing with differently precise design problems. *Design Studies* **20**(5): 417-429.
- Gabora L. (2002). *Cognitive Mechanisms Underlying the Creative Process*. C&C'02 Creativity and Cognition, Loughborough, UK.
- Gero J.S. (1996). Creativity, emergence and evolution in design. *Knowledge-Based Systems* **9**(7): 435-448.
- Gero J.S., Kazakov V. (1999) Using analogy to extend the behaviour state space in creative design. *In: JS Gero and ML Maher (eds). Computational Models of Creative Design IV*, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney, Sydney, pp. 113-143.
- Gero J.S. (2000). Computational Models of Innovative and Creative Design Processes. *Technological Forecasting and Social Change* **64**(2-3): 183-196.
- Gero J.S. and Fujii H. (2000) A computational framework for concept formation in a situated design agent, *Knowledge-Based Systems* **13**(6): 361-368.
- Giannini F., Monti M. and Podehl G. (2006). Aesthetic-driven tools for industrial design. *Journal of Engineering Design* **17**(3): 193-215.
- Goeker M. H. (1997). The effects of experience during design problem solving. *Design Studies* **18**(4): 405-426.
- Goldschmidt G. (1994) On visual design thinking: the vis kids of architecture. *Design Studies* **19**: 389-430
- Goldschmidt G. and Smolkov M. (2006). Variances in the impact of visual stimuli on design problem solving performance. *Design Studies* **27**(5): 549-569.
- Goldschmidt G. and Tatsa D. (2005). How good are good ideas? Correlates of design creativity. *Design Studies* **26**(6): 593-611.
- Gomes P., Seco N., Pereira F. C., Paiva P., Carreiro P., Ferreira J. L. and Bento C. (2006). The importance of retrieval in creative design analogies. *Knowledge-Based Systems* **19**(7): 480-488.
- Grosjean S., Fixmer P. and Brassac C. (2000). Those “psychological tools” inside the design process. *Knowledge-Based Systems* **13**(1): 3-9.
- Guénand A. and Capell Zapata F. (2003). A performance aid in creativity and capitalisation for designers and semiologists. ADC Asian Design Conference, Tsukuba, Japan.

- Guénand A. and Dandault F. (2004a). ADEX: A tool for a common representation of design concepts and design argumentation in a cross-discipline collaboration. International Engineering and Product Design Education Conference, Delft, The Netherlands.
- Guénand A., Lamrous S. and Rougon G. (2004b). Semiological method and tool for the design of industrial products: Analysis based on ontologies. IDMME 2004, Bath, UK.
- Guilford J.P. (1967) The nature of human intelligence. NY: McGraw Hill.
- Hanna R. and Barber T. (2001). An inquiry into computers in design: attitudes before—attitudes after. *Design Studies* **22**(3): 255-281.
- Hatchuel A. and Weil B. (2002). La théorie C-K: Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Colloque "Sciences de la conception", Lyon, France.
- Hewett T. T. (2005). Informing the design of computer-based environments to support creativity. *Int. J. of Human-Computer Studies* **63**(4-5): 383-409.
- Heylighen A. and Martin G. (2005). Chasing concepts during design: A photo shoot from the field of architecture. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* **19**: 289-299.
- Heylighen A. and Neuckermans H. (2001). A case base of Case-Based Design tools for architecture. *Computer-Aided Design* **33**(14): 1111-1122.
- Heylighen A. and Verstijnen I. M. (2003). Close encounters of the architectural kind. *Design Studies* **24**(4): 313-326.
- Hicks B. J., Culley S. J., Allen R. D. and Mullineux G. (2002). A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design. *International Journal of Information Management* **22**(4): 263-280.
- Hoeben A. and Stappers P. J. (2005). Direct talkback in computer supported tools for the conceptual stage of design. *Knowledge-Based Systems* **18**(8): 407-413.
- 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.
- Hsiao S.-W. and Chou J.-R. (2004). A creativity-based design process for innovative product design. *International Journal of Industrial Ergonomics* **34**(5): 421-443.
- Hsu S. H., Chuang M. C. and Chang C. C. (2000). A semantic differential study of designers' and users' product form perception. *International Journal of Industrial Ergonomics* **25**(4): 375-391.
- Hummels C.C.M., Overbeeke C.J., Klooster S. (2007). Move to get moved: a search for methods, tools and knowledge to design for expressive and rich movement-based interaction. *Personal and Ubiquitous Computing*, **11**(8), 677-690.
- Ishii N. and Miwa K. (2002). Interactive Processes between Mental and External Operations in Creative Activity: A Comparison of Experts' and Novices' Performance. *C&C'02 Creativity and Cognition*, Loughborough, UK.
- Ishii H., Ratti C., Piper B., Wang Y., Biderman A., Ben-Joseph E. (2004) Bringing Clay and Sand into Digital Design - Continuous Tangible User Interfaces. *BT Technology Journal* **22**(4): 287-299.
- Jin S. T., Kim Y. S. K. and Kim M. H. (2005). Diverse Characteristics in Design Problem Solving: A Case Study of Disciplinary Comparisons. *IDC International Design Conference*, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan.
- Jin Y. and Chusilp P. C. (2006). Study of mental iteration in different design situations. *Design Studies* **27**(1): 25-55.
- Johnson H. and Carruthers L. (2006). Supporting creative and reflective processes. *Int. J. Human-Computer Studies* **64**(10): 998-1030.
- Jonson B. (2005). Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. *Design Studies* **26**(6): 613-624.
- Kacher S. (2005) Proposition d'une méthode de référencement d'images pour assister la conception architecturale : Application à la recherche d'ouvrages. Thèse de doctorat (Sciences de l'architecture). France, Institut National Polytechnique de Lorraine: 237 pages.
- Kacher S., Bignon J.C., Halin G., Humbert P. (2005) A method for constructing a reference image database to assist with design process. Application to the wooden architecture domain, *Int. J. of Architectural Computing*, **3**(2): 227-243.
- Kaur S., Westerman S., Mougnot C., Sourbé L. and Bouchard C. (2006). Computer-based support for creativity in industrial design (poster presentation). *CCID'06, First International Symposium on Culture, Creativity and Interaction Design*, London, UK.

- Kavakli M. and Gero J. (2002). The structure of concurrent cognitive actions: a case study on novice and expert designers. *Design Studies* **23**(1): 25-40.
- Kazazian T. (2003) *Il y aura l'âge des choses légères*. Paris : Victoires éditions.
- Keller A. I. (2005). *For Inspiration Only*. Ph.D. Thesis (Industrial Design). The Netherlands, TU Delft: 175 pages.
- Kim M. H., Kim Y. S. K. and Jin S. T. (2005). Design Creativity and Personal Characteristics. IDC International Design Conference, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan.
- Koestler A. (1980). *Le cri d'Archimède. Génie et folie de l'homme*. Ed. Calmann-Levy.
- Kokotovich V. and Purcell T. (2000). Mental synthesis and creativity in design: an experimental examination. *Design Studies* **21**(5): 437-449.
- Kolodner J. L. and Wills L. M. (1996). Powers of observation in creative design. *Design Studies* **17**(4): 385-416.
- Kruger C. and Cross N. (2006). Solution driven versus problem driven design: strategies and outcomes. *Design Studies* **27**(5): 527-548.
- Kryssanov V. V., Tamaki H. and Kitamura S. (2001). Understanding design fundamentals: how synthesis and analysis drive creativity, resulting in emergence. *Artificial Intelligence in Engineering* **15**(4): 329-342.
- Kwak S. S. and Kim M.-s. (2006). Problem-solving model of design with a controllable determinization level. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Lai I.-C. and Chang T.-W. (2006). A distributed linking system for supporting idea association during the conceptual design stage. *Design Studies* **27**(6): 685-710.
- Lawson B. (2004a). Schemata, gambits and precedent: some factors in design expertise. *Design Studies* **25**(5): 443-457.
- Lawson B. (2004b). *What designers know*. Oxford, Architectural Press.
- Lawson B. (2005). Oracles, draughtsmen, and agents: the nature of knowledge and creativity in design and the role of IT. *Automation in Construction* **14**(3): 383-391.
- Lawson B. (2006). *How Designers Think - The Design Process Demystified*. Oxford (4th edition), Architectural Press.
- Lawson B. and Loke S. M. (1997). Computers, words and pictures. *Design Studies* **18**(2): 171-183.
- LCPI (2004) Dossier scientifique du Laboratoire Conception de Produits et Innovation (dossier rédigé tous les quatre ans à l'attention du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur)
- Leclercq P. and Heylighen A. (2002). 5.8 Analogies per hour: A designer's view on analogical reasoning. AID'02 Artificial Intelligence in Design 2002, Cambridge, UK.
- Lee S. (2003). An Analysis of Brain Waves generated by Various Behaviors and Creation/ Imagination. ADC Asian Design Conference, Tsukuba, Japan.
- Levy P. (2005) *Interdisciplinary Design for the Cyberspace by an approach in Kansei Information—Methodology and Workgroup Communication Tool Design Approach in Kansei*. PhD thesis (Kansei Studies), Japan: Univ. of Tsukuba
- Levy P. and Yamanaka T. (2006). Towards a definition of Kansei. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Li Y., Wang J., Li X. and Zhao W. (2006). Design creativity in product innovation. *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*.
- Liu Y.-T. (1998). Personal Versus Cultural Cognitive Models of Design Creativity. *Int. J. of Technology and Design Education* **8**(2): 185-195.
- Liu Y.-T. (2000). Creativity or novelty? Cognitive-computational versus social-cultural. *Design Studies* **21**(3): 261-276.
- Liu Y. C., Chakrabarti A. and Bligh T. (2003). Towards an 'ideal' approach for concept generation. *Design Studies* **24**(4): 341-355.
- Lloyd P., Lawson B. and Scott P. (1995). Can concurrent verbalization reveal design cognition? *Design Studies* **16**(2): 237-259.
- Lloyd P. and Snelders D. (2003). What was Philippe Starck thinking of? *Design Studies* **24**(3): 237-253.
- Lopez-Mesa B. and Thompson G. (2006). On the significance of cognitive style and the selection of appropriate design methods. *Journal of Engineering Design* **17**(4): 371-386.

- Love T. (2006). A systems analysis of the problem of professional practice in design: Why Mac computer systems reduce creativity and inhibit quality improvement of novel innovative design. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Lubart T. (2005). How can computers be partners in the creative process: Classification and commentary on the Special Issue. *International Journal of Human-Computer Studies* **63**(4-5): 365-369.
- Malaga R. A. (2000). The effect of stimulus modes and associative distance in individual creativity support systems. *Decision Support Systems* **29**(2): 125-141.
- Mantelet F. (2006). *Prise en compte de la perception émotionnelle du consommateur dans le processus de conception de produits*. Thèse de doctorat (Génie industriel). France, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers : 166 pages
- Mantelet F., Bouchard C. and Aoussat A. (2003). Integration and optimization of Kansei engineering in the process of design of new products. ADC Asian Design Conference, Tsukuba, Japan.
- Mantelet F., Bouchard C. and Aoussat A. (2005). Analysis of the correlation between words and design elements for the generation of a Kansei engineering system. IDC International Design Conference, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan.
- Marxt C. and Hacklin F. (2005). Design, product development, innovation: all the same in the end? A short discussion on terminology. *Journal of Engineering Design* **16**(4): 413-421.
- McDonagh D. and Denton H. (2005a). Exploring the degree to which individual students share a common perception of specific mood boards: observations relating to teaching, learning and team-based design. *Design Studies* **26**(1): 35-53.
- McDonagh D., Goggin N. and Squier J. (2005b). Signs, symbols, and subjectivity: An alternative view of the visual. *Computers and Composition* **22**(1): 79-86.
- MEIE (2007) Étude internationale sur les politiques favorisant l'usage du design par les entreprises. Etude réalisée par la société Algoé pour le Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi / Direction Générale des Entreprises (DGE). Oct. 2007. 148 pages. (document téléchargeable en ligne: www.industrie.gouv.fr/creation/etudes/algoe-design.pdf)
- Mer S., Jeantet A., Tichkiewitch S. (1996) Worlds of the Design and Product Model. Rensselaer's 5th International Conference on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology.
- Mougenot C., Bouchard C. and Aoussat A. (2006). Fostering innovation in early design stage: A study of inspirational process in car-design companies. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Mougenot C., Bouchard C. and Aoussat A. (2007a). Creativity in design: How designers gather information in the "preparation" phase. IASDR'07, the 2007 Conference of the International Association of Societies of Design Research, Hong Kong Polytechnic University, Hong-Kong.
- Mougenot C., Bouchard C. and Aoussat A. (2007b). A study of designers' cognitive activity in design informational phase. ICED'07 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France.
- Muller W. and Pasman G. (1996). Typology and the organization of design knowledge. *Design Studies* **17**(2): 111-130.
- Nagai Y., Candy L. and Edmonds E. (2003). Representations of Design Thinking: A Review of Recent Studies.
- Nagai Y. and Noguchi H. (2002). How Designers Transform Keywords into Visual Images. C&C'02 Creativity and Cognition, Loughborough, UK.
- Nagai Y., Taura T., Edmonds E., Candy L. and Okada R. (2006). A Study of design creativity in concept synthesis: Role of action concepts in design creative process. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference.
- Nakakoji K., Yamamoto Y. and Ohira M. (2000). Computational support for collective creativity. *Knowledge-Based Systems* **13**(7-8): 451-458.
- Nakakoji K., Yamamoto Y., Sugiyama K. and Takada S. (1998). Finding the "Right" Image: Visualizing Relationships among Persons, Images and Impressions. *Designing Effective and Usable Multimedia Systems*. A. Sutcliffe, J. Ziegler and P. Johnson, Kluwer Academic Publishers: 91-102.
- Nakakoji K. (2006) Meanings of Tools, Support, and Uses for Creative Design Processes. International Design Research Symposium'06, 156-165, Seoul, November, 2006

- Noguchi H. (1997). An idea generation support system for industrial designers (idea sketch processor). *Knowledge-Based Systems* **10**(1): 37-42.
- Norman D.A. (1988) *The psychology of everyday things*. Basic Books [Reprinted MIT Press, 1998]
- Oxman R. (2000). Design media for the cognitive designer. *Automation in Construction* **9**(4): 337-346.
- Oxman R. (2002). The thinking eye: visual re-cognition in design emergence. *Design Studies* **23**(2): 135-164.
- Papanek V (1971) *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. NY: Pantheon Books
- Pasman G. (2003). *Designing with precedents*. Ph.D. Thesis (Industrial design). The Netherlands, TU Delft: 224 pages.
- Pahl G. and Beitz I. (1984) *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer: London.
- Perttula M. (2006) *Idea generation in engineering design: Application of a memory search perspective and some experimental studies*. PhD Thesis (Mechanical Engineering). Finland, Helsinki University of Technology.
- Perttula M., Sipilä P. (2005) Time cycle effects in design ideation. ICED 2005, International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia.
- Perttula M., Sipilä P. (2006) The idea exposure paradigm in design idea generation. *Journal of Engineering Design*. **18**(1): 93-102.
- Perrin J. (1999). *Pilotage et évaluation des processus en conception*, L'Harmattan, Paris-Montreal.
- Picard R. (1997) *Affective Computing*. MIT Press
- Pollack S. (2006) *Sketches of Frank Gehry*. Film. Proc: Sony
- Quarante D. (2001) *Éléments de design industriel*. 3^{ème} édition. Paris : Polytechnica.
- 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.
- Restrepo J. and Christiaans H. (2003). Design requirements: Conditioners or conditioned? ICED'03, 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, Sweden.
- Restrepo J., Christiaans H. and Green W. S. (2004). Give me an Example: Supporting the Creative Designer. CADE2004 Web Proceedings of Computers in Art and Design Education Conference, Copenhagen Business School, Denmark and Malmö University, Sweden, M. Agger Eriksen., L. Malmborg, J. Nielsen.
- 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
- Rhea D. (2003). *Bringing Clarity to the Fuzzy Front End*. Design Research. Ed.: Brenda Laurel, Cambridge: MIT Press
- Rosenman M. and Gero J. (1992) Creativity in Design Using a Prototype Approach, in *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design*. J. S. Gero, and M. L. Maher, eds., Lawrence Erlbaum, 119–145.
- Ross V. E. (2006). A model of inventive ideation. *Thinking Skills and Creativity* **1**(2): 120-129.
- Samier H. and Sandoval V. (2007). *La Webcréativité*, Hermes Science (Coll. finance gestion management).
- Sarkar P., Chakrabarti A. (2007) Development of a method for assessing design creativity. CD-Rom Proceedings of ICED'07, 16th International Conference on Engineering Design, Paris, Aug. 2007
- Schneiderman B. (2000). Creating Creativity: User Interfaces for Supporting Innovation. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* **7**(1): 114-138.
- Schön D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books (reprinted in 1995).
- Schön D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Knowledge-Based Systems*, **5**(1): 3-14.
- Selker T. (2005). Fostering motivation and creativity for computer users. *International Journal of Human-Computer Studies* **63**(4-5): 410-421.
- Shah J. J., Smith S. M. and Vargas-Hernandez N. (2003). Metrics for measuring ideation effectiveness. *Design Studies* **24**(2): 111-134.
- Sharma P. (2002) *Teaching Creativity: A Systemic Point of view*. UNITEC Institute of Technology, Auckland, New Zealand. Short Paper. http://www.arts.ac.uk/docs/cltad_2002sharma.pdf
- Simon H.A. (1969) *The Science of the artificial*. Cambridge (Mass.). London : MIT Press, 123 pages

- Simon H.A. (1973) The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence* **4**: 181-201
- Soufi B. and Edmonds E. (1996). The cognitive basis of emergence: implications for design support. *Design Studies* **17**(4): 451-463.
- Sourbé L., Mougenot C., Bouchard C. (2006) Elaboration d'un outil interactif de recherche d'informations pour designers industriels. CONFERE 2006. Marrakech, 6-7 juillet 2006 : p 249-254.
- Stappers P. J. (2006). Creative connections: user, designer, context, and tools. *Pers. Ubiquit. Comput.* **10**: 95-100.
- Sternberg R. J. (2005). Creativity or creativities? *Int. J. Human-Computer Studies* **63**(4-5): 370-382.
- Suwa M., Gero J. and Purcell T. (2000). Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process. *Design Studies* **21**(6): 539-567.
- 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
- 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
- Tomes A., Oates C. and Armstrong P. (1998). Talking design: negotiating the verbal-visual translation. *Design Studies* **19**(2): 127-142.
- Torrance E. P. (2004). Un résumé historique du développement des tests de pensée créative de Torrance. *Revue européenne de psychologie appliquée* **54**(1): 57-63.
- Tovey M. (1997). Styling and design: intuition and analysis in industrial design. *Design Studies* **18**(1): 5-31.
- Tovey M. and Owen J. (2000). Sketching and direct CAD modelling in automotive design. *Design Studies* **21**(6): 569-588.
- Tovey M., Porter S. and Newman R. (2003). Sketching, concept development and automotive design. *Design Studies* **24**(2): 135-153.
- TRENDS MD1 (2007) TRENDS Project, Metadeliverable 1: State-of-the-art. Public report, www.trendsproject.org
- UK Design Council (2007). Eleven lessons: managing design in eleven global companies. Desk research report. November 5, 2007. Disponible sur www.designcouncil.org.uk
- Ullman D. (1997). *The mechanical design process*. New York: McGraw-Hill International.
- Vadcard P. (1996) Aide à la programmation de l'utilisation des outils en conception de produits. Thèse de doctorat ENSAM (Génie industriel)
- Van der Lugt R. (2000). Developing a graphic tool for creative problem solving in design groups. *Design Studies* **21**(5): 505-522.
- Van der Lugt R. (2001). Developing brainsketching, a graphic tool for generating ideas. Idea Safari, 7th European Conference on Creativity and Innovation, University of Twente, The Netherlands.
- 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.
- Van der Lugt R. (2005). How sketching can affect the idea generation process in design group meetings. *Design Studies* **26**(2): 101-122.
- Veron E., Lévassieur M. (1991) *Ethnographie de l'exposition : l'espace, le corps, le sens*. Edition Études et recherches du Centre Pompidou.
- Visser W. (1996). Two functions of analogical reasoning in design: a cognitive-psychology approach. *Design Studies* **17**(4): 417-434.
- Visser W. (2006). Both generic design and different forms of designing. Wonderground, the 2006 DRS (Design Research Society) International Conference, Lisbon, Portugal.
- Von der Weth R. (1999). Design instinct? The development of individual strategies. *Design Studies* **20**(5): 453-436.
- Vosniadou S. and Ortony A. (1989) Similarity and analogical reasoning; a synthesis, in S. Vosniadou and A. Ortony (eds), *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University press, Cambridge, 1-7.
- Wallas G. (1926). *The Art of Thought*, Harcourt, Brace & World. NY.
- Ward S. (2005). Designers and Users: How industrial designers get information about people. IDC International Design Conference, National Yunlin University of Science and Technology, Taiwan.

- Wilpert B. (2007). Psychology and design processes. *Safety Science* **45**(1-2): 293-303.
- Yamamoto Y. and Nakakoji K. (2005). Interaction design of tools for fostering creativity in the early stages of information design. *International Journal of Human-Computer Studies* **63**(4-5): 513-535.
- Yamamoto Y., Nakakoji K. and Takada S. (2000). Hands-on representations in a two-dimensional space for early stages of design. *Knowledge-Based Systems* **13**(6): 375-384.
- 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

Index des figures

Figure 1 : Le processus de conception : une concrétisation croissante, de l'idée au produit	17
Figure 2 : notre recherche cible la phase d'exploration et la transition avec la phase de génération	17
Figure 3 : Axes de recherche du Laboratoire Conception de Produits et Innovation [LCPI, 2004]	18
Figure 4 : Boucle de recherche-action : modélisation et retours terrain	20
Figure 5 : Disciplines de recherche concernées par nos travaux.....	23
Figure 6 : Positionnement de notre étude dans la sphère de l'entreprise, d'après [Sharma, 2002].....	24
Figure 7 : Carte (non exhaustive) des laboratoires étudiant les activités de conception.....	29
Figure 8 : Les sources de notre bibliographie, au carrefour du génie industriel, de la psychologie et de l'informatique.....	33
Figure 9 : Schématisation de notre état-de-l'art en 3 pôles : conception / cognition / numérisation	34
Figure 10 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la phase d'exploration du processus de conception	35
Figure 11 : Processus de conception présenté au grand public	35
Figure 12 : Modèle de processus de conception [Pahl & Beitz, 1996]	38
Figure 13 : les 4 étapes du processus de conception par [Cross, 2000]	39
Figure 14 : Modèle cyclique de l'étape de résolution de problème et de recherche d'idée [Van der Lugt, 2001]	39
Figure 15 : Modèle de conception propose par [UK Design Council, 2007]	40
Figure 16 : Schematic description of knowledge/information versus design freedom [Ullman, 1997]	41
Figure 17 : Influence / information contradiction at the early stages of design [Zeiler et al., 2007]	42
Figure 18 : Répartition du temps lors de la conception, d'après [Charron, 1998, cité par Mantelet, 2005]	42
Figure 19 : notre recherche cible la phase d'exploration et la transition avec la phase de génération	44
Figure 20 : Les esquisses sont la première formalisation de solutions par les designers.	45
Figure 21 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la phase d'exploration du processus de conception	47
Figure 22 : De la science-fiction au Juicy Salif de Philippe Starck [Lloyd and Snelders, 2003].....	49
Figure 23 : De Fred Astaire et Ginger Rogers au « Tancicky Dum » de Frank O. Gehry, 1995 [Kacher, 2005].....	49
Figure 24 : Des pieds de rhubarbe au pont Kingsgate, à Durham (GB) [Eckert & Stacey, 2000]	50
Figure 25 : Description du processus d'exploration dans le contexte de la confection textile [Eckert and Stacey, 2000].....	51
Figure 26: Conditions d'expérimentation, sans stimuli visuels et avec stimuli visuels [Goldschmidt & Smolkov, 2006]	52
Figure 27: Pour les sujets de l'étude (non- designers), les images ont un plus fort impact sur la créativité que le texte, d'après [Malaga, 2000].....	53
Figure 28 : Modèle du principe d'émergence visuelle [Oxman, 2002].....	54
Figure 29 : Représentations intermédiaires pour la concrétisation des solutions design [Bouchard, 1997]	55
Figure 30 : Exemple d'une cartographie sémantico-spatiale [Plos et al., 2004], cité par [Mantelet, 2006].....	56
Figure 31 : Exemples de planches de tendances, « Zen Air » et « White Organic » [Mantelet, 2006]	56
Figure 32 : Description de la méthode d'Analyse de Tendances Conjointe [Bouchard, 1997].....	57
Figure 33 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la créativité en conception.....	57
Figure 34 : Modèle de la pensée créative par [Wallas, 1926]	58
Figure 35 : Les trois composantes de la créativité individuelle [Amabile, 1997].....	58
Figure 36 : La créativité vue comme un système d'interactions [Csikszentmihalyi, 1999].....	59
Figure 37: Raisonnements créatifs : de la source à la cible de conception, d'après [Rosenman and Gero, 1992].....	61
Figure 38: Le raisonnement par analogie consiste en l'évocation de sources et l'adaptation de sources à une cible.....	63
Figure 39: Exemples de sources pour chaque type de domaines, d'après [Bonnardel & Marmèche, 2005]	65
Figure 40: Exemple de linkograph [Goldschmidt & Tassa, 2005].....	70
Figure 41: Impact des sources d'inspiration sur la créativité des concepteurs : peu de travaux référencés	71
Figure 42: Extrait des sources d'inspiration fournies aux concepteurs, dans l'étude de [Leclercq & Heylighen, 2002].....	72
Figure 43: Diagramme des constituantes du raisonnement par analogie proposé par [Leclercq & Heylighen, 2002].....	73
Figure 44: Exemples de sources d'inspiration intra-domain, inter-domaine proche, inter-domaine éloigné (de g. à dr.).....	74
Figure 45: Schématisation de la relation entre le niveau d'abstraction de l'analogie et la distance source-cible	76
Figure 46 : Schématisation de notre état-de-l'art sur la numérisation de la conception.....	77
Figure 47: Le développement d'un logiciel d'aide à la conception doit intégrer les pratiques et besoins des concepteurs....	79

Figure 48: Portfolio des outils proposés par Dassault Systèmes pour la phase de « Conceptual Design », d’après le site web de Dassault Systèmes [www.3ds.com]	79
Figure 49: Dans le portfolio Dassault Systèmes, il n’existe pas encore d’outils numériques d’aide à l’exploration	80
Figure 50 : ProductWorld [Pasma, 2003]	81
Figure 51 : Moteur de recherche d’images dont les entrées sont des images exemples (case 2) ou des images contre-exemples (case 3) [Restrepo, 2005].....	82
Figure 52: l’outil “Cabinet” de recherche et manipulation d’images pour les designers [Keller, 2005]	82
Figure 53: Interface de recherche d’images architecturales développée par le CRAI [Kacher, 2006].....	83
Figure 54: Modules d’un système d’aide à la créativité [Bonnardel & Marmèche, 2005]	86
Figure 55: Illustration de recherche d’images classique vs. recherche basée Kansei.....	87
Figure 56 : Représentation du cheminement de notre état-de-l’art et des connections thématiques.....	89
Figure 57 : Description des modules d’un outil logiciel idéal d’aide à l’exploration	92
Figure 58: Périmètre de la thèse	96
Figure 59: notre positionnement en terme d’outil d’aide à la créativité, adapté de [Bonnardel & Marmèche, 2005]	99
Figure 60: Schématisation de la relation entre le niveau d’abstraction de l’analogie et la distance source-cible	99
Figure 61: Illustration de la sous-hypothèse H2.2 sur la distance source-cible et son impact sur la créativité.....	100
Figure 62 : Schéma de l’architecture du logiciel TRENDS	107
Figure 63: Scénario simplifié d’utilisation du logiciel TRENDS [www.trendsproject.org].....	107
Figure 64 : Partenaires du projet TRENDS	109
Figure 65 : Organisation des jalons du projet TRENDS	110
Figure 66 : Processus d’analyse du besoin des utilisateurs finaux de TRENDS par analyse fonctionnelle	112
Figure 67: Positionnement des expérimentations sur le processus de conception et par rapport au type d’objectif (descriptif / prescriptible)	115
Figure 68 : La première expérimentation se positionne en amont de la phase d’exploration, les résultats sont descriptifs. 116	116
Figure 69: Extrait du questionnaire de préparation	118
Figure 70: Entretien avec les designers de Stile Bertone et de FIAT (Turin, Italie).	119
Figure 71 : Extrait d’un questionnaire « Où cherchez-vous l’inspiration ? »	121
Figure 72: Répartition des secteurs d’influence design selon la fréquence de citation (32 répondants).....	123
Figure 73: Copie d’écran du site web le plus consulté par les participants de l’enquête : www.cardedesignnews.com.....	124
Figure 74: David Wilkie, design manager de Stile Bertone, présentant des planches de tendances	126
Figure 75 : Modélisation de l’utilisation de l’information par les designers [Sourbé et al., 2006]	127
Figure 76 : L’expérimentation 1 permet de valider l’hypothèse 1	128
Figure 77 : La deuxième expérimentation vise à affiner les résultats de la première expérimentation.	129
Figure 78 : Schématisation du protocole de l’expérimentation 2	130
Figure 79: Designer participant à la tâche d’annotation d’images	131
Figure 80 : Etapes du protocole d’exploration libre de ressources visuelles.....	132
Figure 81 : Cahier des charges ‘design’ donné aux participants.....	132
Figure 82 : Etapes de l’exploration de ressources visuelles contrainte par un cahier des charges design.....	133
Figure 83: Exemples d’images sélectionnées par les utilisateurs car “inspirationnelles”	134
Figure 84: Descriptions données par les participants de la seule image sélectionnée par plus d’un participant	135
Figure 85: Répartition des magazines à l’origine des images sélectionnées (ex: 29% des images sélectionnées proviennent du magazine “Frame”).....	136
Figure 86: Nombre d’images sélectionnées (des magazines et des sites web) suivant le type de source	136
Figure 87: Nombre d’images sélectionnées (des magazines et des sites web) suivant le niveau d’abstraction	139
Figure 88 : La troisième expérimentation vise la transition de l’exploration à la génération ; les résultats sont prescriptibles.	145
Figure 89: Structuration de l’espace de ressources inspirationnelles	146
Figure 90: Proposition de structuration des sources d’inspiration par secteurs d’influence évoqués par les designers	147
Figure 91: Brief design fourni aux participants de l’EXP.3.....	148
Figure 92: Déroulement du protocole expérimental de EXP.3.....	148
Figure 93 : Les 14 esquisses sont évaluées selon 3 critères (nouveau, faisabilité, adéquation au brief).....	149
Figure 94 : Exemples de solutions-design, par un designer ‘intérieur’ (à gauche) et par un designer ‘extérieur’ (à droite)..	150
Figure 95 : Résultats des évaluations des esquisses en fonction du secteur d’origine des images inspirationnelles	151

Figure 96 : Synthèse du cheminement expérimental.....	155
Figure 97 : Synthèse des apports de l'expérimentation 1	156
Figure 98 : Synthèse des apports de l'expérimentation 2	157
Figure 99 : Synthèse des apports de l'expérimentation 3	158
Figure 100 : Synthèse des liens entre hypothèses et expérimentations	159
Figure 101 : Modèle de la phase d'exploration en conception de produits.....	164
Figure 102 : Apport de cette recherche pour le développement d'un outil idéal d'aide à l'exploration en conception	167
Figure 103 : Interface du logiciel TRENDS et module de recherche par secteurs.....	167
Figure 104 : Notre démarche s'intègre dans une problématique globale d'optimisation du processus de conception	168
Figure 105 : Apports de la thèse : Modèle de la phase d'exploration et outil d'aide à l'exploration	170
Figure 106 : Perspectives de développement d'un outil d'aide à l'exploration	171
Figure 107: Périmètre de la thèse et positionnement des perspectives de recherche	172

Index des tableaux

Tableau 1 : 22 modèles de processus de conception proposés entre 1967 et 2006 [Howard et al., 2008].....	37
Tableau 2: Exemples de formes émergentes à partir de deux carrés [Soufi & Edmonds, 1996].....	61
Tableau 3: Raisonnement par analogie, aboutissant à l'émergence d'un nouveau concept, d'après [Anolli et al., 2001]	62
Tableau 4: Nom donné à la source d'inspiration suivant son éloignement d'avec la cible	65
Tableau 5 : Critères d'appréciation de productions créatives (« Creative output definition » [Howard et al., 2008])	68
Tableau 6: Proportions des différents types d'aspects évoqués par les designers experts en fonction du type de sources ...	75
Tableau 7: Illustration de la sous-hypothèse H2.1 sur le spectre d'action d'un outil d'aide à la créativité	98
Tableau 8: Le logiciel TRENDS permet la numérisation de la méthodologie d'Analyse de Tendances Conjointe.....	106
Tableau 9 : Répartition des participants selon leur profil professionnel.....	116
Tableau 10 : Eléments de design extraits des secteurs d'influence	122
Tableau 11 : Comparaison des secteurs d'influence des designers automobile en 1997 et en 2006	123
Tableau 12: Comparaison de la perception par les designers de la recherche d'images dans les magazines et sur le web ..	125
Tableau 13 : Magazines et sites web fournis aux participants pour la partie "exploration libre"	131
Tableau 14 : Moteurs de recherche d'images fournis aux participants pour la partie "exploration contrainte"	133
Tableau 15 : Caractérisation des images sélectionnées par les participants (total: 55 images sélectionnées).....	135
Tableau 16 : Définition des « domaines de sources », adapté de [Bonnardel & Marmèche, 2005]	136
Tableau 17 : Définition des niveaux d'abstraction	137
Tableau 18 : Répartition des annotations dans l'un des trois niveaux d'abstraction	137
Tableau 19 : Répartition des images (noms de la catégorie et nombre d'images) dans les trois niveaux d'abstraction	138
Tableau 20 : Séquence de recherche d'images par "Designer 1".....	140
Tableau 21: EXP.3 - Nombre de participants par secteur d'inspiration.....	149
Tableau 22 : Protocoles mis en œuvre et étapes du processus de conception concernées par les expérimentations.....	154
Tableau 23 : Points forts constituant des modules 'stockage' et 'requête' d'images dans le logiciel TRENDS	166
Tableau 24 : Outils de recherche d'images (Etat-de-l'art du projet TRENDS)	194

Production scientifique

REVUES INTERNATIONALES

Mougenot C., Bouchard C., Aoussat A., Westerman S. (**In Press**). Inspiration, Images and Design: An Investigation of Designers' Information Gathering Strategies. **Journal of Design Research**. Eds.: Henri Christiaans, Paulien Herder, Ina Klaasen. Geneva: Inderscience Publishers.

Kim J., Bouchard C., Omhover J.F., Mougenot C., Aoussat A. (**Submitted**) A metaphor scenario-based icon design method for a creative support tool with emphasis on the subjective aspect of icon design. **Behaviour & Information Technology**. Taylor and Francis.

OUVRAGES OU CHAPITRES D'OUVRAGES

Bouchard C., Omhover J.F., Mougenot C., Aoussat A., Westerman S. (2008) TRENDS: A Content-Based Information Retrieval System for Designers. **Design Computing and Cognition '08**. pp 593-611. Ed.: J.S. Gero and A. Goel. Springer. ISBN-10: 1402087276. ISBN-13: 978-1402087271.

CONFERENCES INTERNATIONALES AVEC COMITE DE SELECTION ET ACTES

Bouchard C., Omhover J.F., Mougenot C., Aoussat A., Westerman S. (2008) TRENDS: A Content-Based Information Retrieval System for Designers. CD-Rom Proceedings of DCC'08, 7th International Conference on Design Computing and Cognition, Atlanta, June 2008

Mougenot C., Bouchard C., Aoussat A. (2008) A Framework for the Qualitative Evaluation of Images Influence on Product Design Creativity. Poster Proceedings of DCC'08, 7th International Conference on Design Computing and Cognition, Atlanta, June 2008

Omhover J.F., Bouchard C., Mougenot C., Aoussat A. (2008) Methodology for the Production of a Web-based Images Collection for Car Designers. CD-Rom Proceedings of DCC'08, 7th International Conference on Design Computing and Cognition, Atlanta, June 2008

Mougenot C., Bouchard C., Aoussat A. (2007) Creativity in Design - How Designers Gather Information in the "Preparation" Phase. CD-Rom Proceedings of IASDR'07, Conference by the International Association of Societies of Design Research, Hong-Kong, November 2007

Bouchard C., Omhover J.F., Mougenot C., Aoussat A. (2007) A Kansei-based Image Retrieval System based on the Conjoint Trends Analysis Method. CD-Rom Proceedings of IASDR'07, Conference by the International Association of Societies of Design Research, Hong-Kong, November 2007

Mougenot C., Bouchard C., Aoussat A. (2007) A Study of Designers' Cognitive Activity in Design Informational Phase. CD-Rom Proceedings of ICED'07, 16th International Conference on Engineering Design, Paris, Aug. 2007

Westerman S.J., Kaur S., Mougenot C., Sourbé L., Bouchard C. (2007) An examination of the impact of new technology on industrial designers' search for inspirational materials. IProms'2007, Conference on Innovative Production Machines and Systems, Cardiff, July 2007

Mougenot C., Bouchard C., Aoussat A. (2006) Fostering innovation in early design stage: A study of inspirational process in car-design companies. CD-Rom Proceedings of Wonderground'06, International Conference by the Design Research Society, Lisbon, Nov. 2006.

Kaur S., Westerman S.J., Mougenot C., Sourbé L., Bouchard C. (2006) Computer-based support for creativity in industrial design. CD-Rom Proceedings of CCID'06, First International Symposium on Culture, Creativity and Interaction Design, London, September 2006

Mougenot C., Sourbé L., Bouchard C. (2006) Inspiration et créativité: Comprendre la recherche d'informations chez les designers. Proceedings of CONFERE 2006, Colloque francophone sur les sciences de l'innovation, Marrakech, July 2006

Guénand A., Mougenot C. (2005) Contribution to interaction design studies through user's subjectivity integration in music-playing device. CD-Rom Proceedings of IASDR'05, Conference of the International Association of Societies of Design Research, Taiwan, November 2005

RAPPORTS DE RECHERCHE LIES AU PROJET TRENDS [FP6-IST-2005-27916] – www.trendsproject.org

Westerman S., Kaur S., Mougenot C., Bouchard C., TRENDS Meta Deliverable 2 : User Factors, Oct 2007 (69 pages)

Mougenot C., Laplaige B., Buisine S., Kaur S., Westerman S., Bouchard C., TRENDS D2.7 : List of Design and Ergonomics Specifications, Dec 2006 (91 pages)

Mougenot C., Bouchard C., Laplaige B., TRENDS D2.4: 1st version of the graphic interface and its description, Oct 2006 (19 pages)

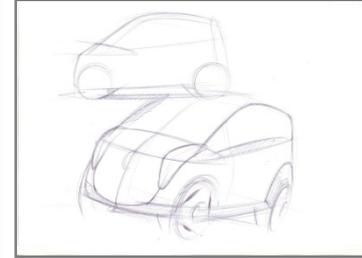
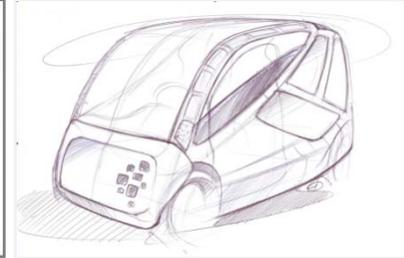
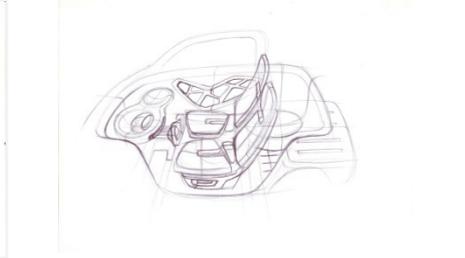
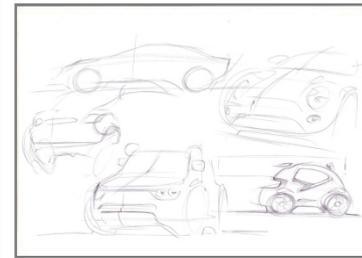
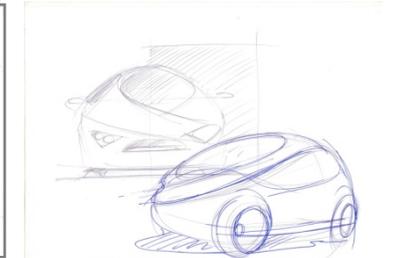
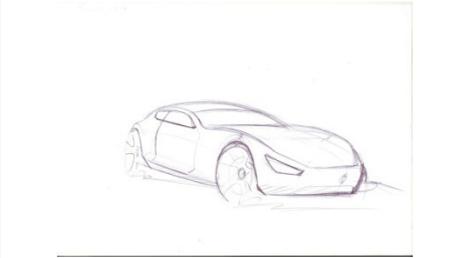
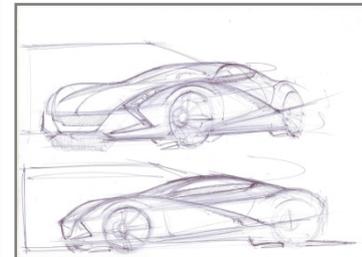
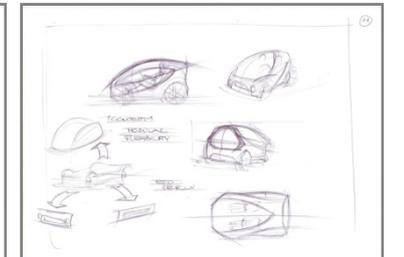
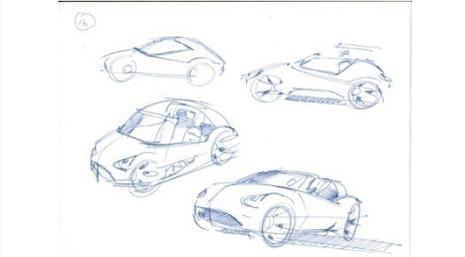
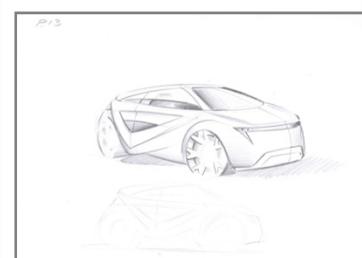
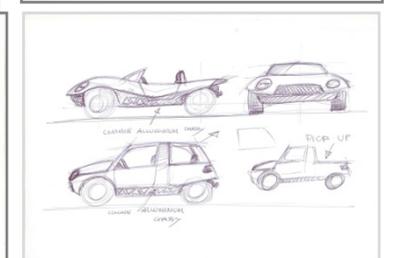
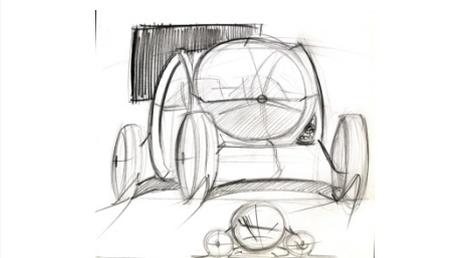
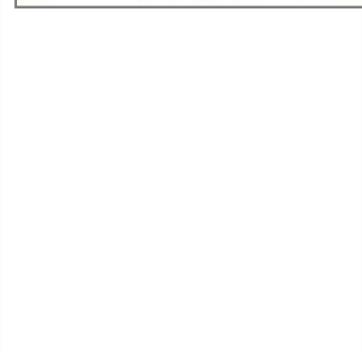
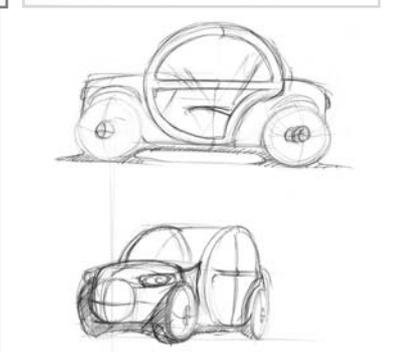
Bouchard C., Sourbé L., Mougenot C., TRENDS D1.5: Specifications validation results, June 2006 (14 pages)

Mougenot C., Bouchard C., Sourbé L., TRENDS D1.4: List of Functional Specifications, June 2006 (23 pages)

Mougenot C., Sourbé L., Bouchard C., Aoussat A., TRENDS D1.1: List of Users Specifications, April 2006 (48 pages)

Annexes

EXP.3 : Esquisses réalisées par les 14 participants

Groupe A	Groupe B	Groupe C
		
		
		
		
		

Projet TRENDS : liste de moteurs de recherche d'images existants

Commercial major web image search engines	GOOGLE	LYCOS	NATUREPIX
	ALTAVISTA	DITTO	IMAGE SEEKER
	ALLTHEWEB	PICSEARCH	NEWPHENIX
	YAHOO	GETTY	
	MSN	CORBIS	
Commercial (+public/free/open source*) CBIR systems	AIRLINERS	FIRE*	PIXLOGIC
	ALIPR*	IMAGEFINDER	QBIC
	AMORE	IMGSEEK*	RETRIEVR*
	BEHOLD	LIKE & RIYA	TAGNAUTICA
	CALIPH & EMIR*	LIRE*	TILTOMO*
	CORTINA*	OCTAGON	VIPER - GIFT*
	EXCALIBUR/CONVERA	PIRIA	VIRAGE XCAVATOR*
Academic CBIR systems	BLOBWORLD	PHOTOBOOK	CBIR AHP
	CIRES	PICSOM	MDS
	IKONA	SIMPLICITY	MM
	IMAGEGROUPER	STRICT	ARCHIEVING
	LCPD	VISUALSEEK	DESIGN DB
	MARS	WALRUS	ARCHIE
	3DMARS	WEBSEEK	IVIDI
	NETRA	XMAGE	CUSTO. RETR.
FP6 Projects – Multimedia and Knowledge representation	AXMEDIS	CARETAKER	SALERO
	ACEMEDIA	K-SPACE	SEVENPRO
	AIM@SHAPE	MEDIA	VIKEF
	ALVIS	CAMPAIGN	WIDE
	BOEMIE	MESH	X-MEDIA
		MUSCLE - RETIN	
KBIR systems	KITE, K-DIME, MIKE	KP AGENT	NATUREPIX
	IRIS	FABRIC CBIR	KM DB
	EMO CBIR	PERCEPT LINK	RIGHT IMAGE
	VIS BAS EMO	IMP WORD	

Tableau 24 : Outils de recherche d'images (Etat-de-l'art du projet TRENDS)

MODELISATION DE LA PHASE D'EXPLORATION DU PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS, POUR UNE CREATIVITE AUGMENTEE

RESUME: La recherche en conception de produits aboutit à des méthodologies et des outils dans le but d'améliorer innovation et créativité. Dans ce contexte, notre recherche propose un modèle de la phase d'exploration du processus de conception de produits; bien que cruciales pour la suite du processus de conception, les phases amont étaient jusqu'à présent peu décrites, en partie car elles impliquent des opérations cognitives difficilement observables. Notre recherche s'est appuyée sur la mise en œuvre d'un protocole expérimental composé de questionnaires, d'entretiens et de simulations d'activités de conception, réalisé avec la participation de designers professionnels. Cette démarche a permis de décrire les stratégies de recherche d'informations et d'images par les designers dans la phase d'exploration du processus de conception et de montrer que le raisonnement créatif amont s'appuie principalement sur les informations visuelles. L'impact des images sur la créativité en design a ensuite été étudié, en particulier en fonction du secteur d'influence de l'image (architecture, mode...). Il a été montré que la distance entre la source (image inspirationnelle) et la cible (produit à concevoir) impacte la créativité des solutions proposées. Le modèle qui en découle a permis de formuler des spécifications pour le développement d'un logiciel d'aide à la conception créative par la recherche d'images. Notre recherche a été conduite dans le cadre d'un projet de trois ans financé par l'Union Européenne (TRENDS: STREP IST-27916) et a été validée par la réalisation d'un logiciel visant à assister les activités de recherche d'informations et de création des designers, dans la phase d'exploration du processus de conception. Le développement du logiciel a été mené grâce à la participation des designers automobiles, dans la conception et dans les tests des différents prototypes du logiciel.

Mots-clés: *Conception de produits. Phase amont. Recherche d'information. Cognition du design. Numérisation du processus de conception. Logiciel de recherche d'images. Créativité.*

TOWARDS STIMULATING CREATIVITY IN DESIGN: A MODEL OF INFORMATIONAL ACTIVITIES IN EARLY PHASES OF PRODUCT DESIGN PROCESS

ABSTRACT: Research in design science aims at providing design practitioners with methodologies and tools to leverage innovation and creativity. In this context, our research ends up with a model of informational activities by designers in early phases of design process; so far, the early phase of design process has not been much investigated, mainly because designers' cognitive operations, hidden and not easily described, are largely involved in this phase. A long-term experimental protocol was carried out with professional designers, involving questionnaires, interviews and design tasks simulation. As an output, designers' information and image-gathering strategies in exploration steps were depicted, showing that images are the main support of design thinking. Imagery impact on design creativity was then evaluated; more specifically, we investigated the impact of images collected within several sectors of influence (e.g. architecture, fashion) and it was demonstrated that distance between the image source and the design target is a major factor of variation of design-solution creativity. The findings enabled to propose development specifications for a creativity-oriented image-retrieval software. Our research was carried out within a three-year project funded by the European Union (TRENDS: STREP IST-27916) and was validated by the production of a software aimed at supporting designers' inspirational and creative activities, developed with the participation of car designers and tested by them.

Keywords: *Product design. Early phases. Informational activities. Design cognition. Computer-aided design. Image-retrieval software. Creativity.*

